

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
(назва факультету, інституту)

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації і управління
(назва кафедри)

"На правах рукопису"
УДК 519.854.2

«До захисту допущено»
В.о.завідувача кафедри

О.А.Павлов
(підпис) (ініціали, прізвище)
« » 20 19 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття ступеня магістра**

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології
(код та назва спеціальності)

ОПП Інформаційні управляючі системи та технології
(код та назва спеціалізації)

на тему: Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи

Виконала: студентка VI курсу групи ІС-81мп
(шифр групи)

Гаврилюк Олена Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н., доц. Жданова О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант д.т.н., проф. Томашевський В.М.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. ТК, к.т.н., доц. Ткач М.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва)

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
(код і назва)

ОПП Інформаційні управляючі системи та технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри
О.А.Павлов
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Гаврилюк Олені Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи
- науковий керівник дисертації Жданова О.Г., доц., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом по університету від “ 28 ” 09 20 19 р. № 3770-с
2. Строк подання студентом дисертації “ 02 ” 12 20 19 р.
3. Об'єкт дослідження процес формування графіку виходів співробітників з гнучким графіком роботи
4. Перелік завдань, які потрібно розробити скласти математичну постановку задачі, виконати огляд методів та результатів її розв'язання, розробити алгоритми формування графіку виходів співробітників з гнучким графіком роботи, за якого сумарне перевищення (або відхилення) кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу є мінімальним, програмно реалізувати розроблені алгоритми та систему для їх експериментального дослідження, виконати аналіз отриманих результатів, розробити інформаційну систему

змінно-добового планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи.

5. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу *Схеми інформаційних потоків у системах виробництва та надання послуг, Класифікація оптимізаційних моделей та алгоритмів, Математична модель та лінеаризація задачі 3, Схема евристичного алгоритму підходу I, Схема евристичного алгоритму підходу II, Схема бази даних, Екранні форми*

6. Орієнтовний перелік публікацій *Дві публікації: одна стаття у фаховому та одні тези доповіді на науково-практичній конференції*

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання “ 2 ” вересня 20 19 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Систематизація результатів огляду літератури	15.09	
2	Порівняльний аналіз існуючих методів розв'язання задачі	26.09	
3	Постановка та формалізація математичної моделі задачі	10.10	
4	Модифікація існуючих методів розв'язання задачі	20.10	
5	Розробка інформаційного та програмного забезпечення	01.11	
7	Проведення експериментальних досліджень розроблених алгоритмів	09.11	
8	Оформлення документації	17.11	
9	Подання роботи на попередній захист	20.11	
10	Подання роботи на основний захист	02.12	

Студент

(підпис)

О. І. Гаврилюк

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)

О. Г. Жданова

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 107 с., 11 рис., 28 табл., 32 джерела, 2 додатки.

Актуальність. Для ефективного змінно-добового планування графіків роботи співробітників, що працюють за гнучким графіком доцільно застосовувати методи вирішення задач теорії розкладів та лінійного програмування. Особливістю цих задач є те, що при додаванні обмежень або зміні критерія оптимальності, відомі ефективні алгоритми стають неефективними. Це спричинило багатогранність підходів та методів вирішення. Також, поширеною є ситуація, коли застосування точного алгоритму є неможливим та існує необхідність застосовувати евристичні або наближені алгоритми.

Задля максимального задоволення запитів клієнтів організації сфери обслуговування мають потребу у відслідковуванні їх потоків, аналізі та ефективному плануванні графіків виходів співробітників. Отже, змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи з метою задоволення потреб організації є актуальною для сучасної сфери обслуговування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Ефективні методи розв'язання задач теорії розкладів» (№ ДР 0117U000919).

Мета дослідження – організація роботи штату супермаркету з метою мінімізації витрат на оплату робочого часу співробітників за умови забезпечення роботи супермаркету (а саме, формування такого графіку роботи співробітників, за якого сумарне перевищення (або відхилення) кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу є мінімальним).

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- скласти математичну постановку задачі;
- виконати огляд методів та результатів з розв'язання поставленої задачі;

- розробити алгоритми формування графіку виходів співробітників з гнучким графіком роботи, за якого сумарне перевищення (або відхилення) кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу є мінімальним;
- програмно реалізувати розроблені алгоритми та систему для експериментального дослідження розроблених алгоритмів;
- виконати аналіз отриманих результатів;
- розробити інформаційну систему змінно-добового планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи.

Об’єкт дослідження – процес формування графіку виходів співробітників з гнучким графіком роботи.

Предмет дослідження – методи календарного планування роботи співробітників з гнучким графіком роботи.

Методи дослідження: комбінаторна оптимізація, дослідження операцій, евристичні методи.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що розроблено два евристичні алгоритми для вирішення задачі змінно-добового планування графіку роботи співробітників з врахуванням гнучких обідніх перерв та досліджено їх ефективність.

Публікації. Матеріали роботи представлено у науковій статті, яку надіслано в редакцію фахового видання «Вісник Національного технічного університету “ХПІ”». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології» [1] (міжнародний стандартний номер періодичного видання ISSN 2079-0023) та опубліковані в Матеріалах III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019) [2].

ГНУЧКИЙ ГРАФІК РОБОТИ, ЗМІННО-ДОБОВЕ ТА КАЛЕНДАРНЕ ПЛАНУВАННЯ, ТЕОРІЯ РОЗКЛАДІВ, МІНІМІЗАЦІЯ СУМАРНОГО ВІДХИЛЕННЯ, ЕВРИСТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ЗАДАЧА ЦІЛОЧИСЛОВОГО ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ, ЗАДАЧА БУЛЕВОГО ПРОГРАМУВАННЯ

ABSTRACT

Master's thesis: 107 pages, 11 figures, 28 tables, 2 appendixes, 32 references.

Relevance. It is rational to use schedule theory and linear programming methods for effective shift scheduling of employees with a flexible timetable. The particularity of these problems it is after added constraints or changed the objective, the known algorithms become ineffective. It initiates an appearance of approaches variety and methods of solving. Also, very frequently it is impossible to apply an accurate algorithm and it is needed to apply heuristic or approximate algorithms.

Service organizations have needs for tracking client flows, analysis and effective employee shift scheduling for a maximum meeting of client requests. So, shift scheduling of employees with a flexible timetable to meet the needs of organization it is actual for modern service sphere

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. The work was carried out at National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» the department of Computer-Aided Management and Data Processing Systems within the theme “Shift Scheduling for Employees with Flexible Work Schedule” (state registration number 0117U000919).

Purpose and objectives of the study are to organize the work of supermarket employees to minimize expenses for paying employees worktime with the condition of providing supermarket functioning (namely to form such employee schedule for which total excess (or deviation) number of employee and needs for them in given time intervals is minimal)

The following **tasks**:

- to formulate mathematical problem;
- to review existed methods and results of solving the problem;
- to develop the algorithm of flexible shift scheduling for employees to minimize total excess (or deviation) of employee number and needs for them in given time intervals;

- to implement the developed algorithms by writing program code;
- to implement the system for experimental research of the developed algorithms;
- to analyze got results;
- to develop an information system for shift scheduling of employees with a flexible timetable.

The object of study is the process of creating shift schedules for employees with a flexible timetable.

Subject of research: the methods of flexible work scheduling for employees.

Research methods: combinatorial optimization, operations research, heuristic methods.

Scientific novelty of the research. Two heuristic algorithms have been developed to solve the problem of shift scheduling for employees taking into account flexible lunchtime and their effectiveness has been researched.

Publications. The materials of the work are presented in a scientific article, which was sent to the office of special edition “Bulletin of the National Technical University «KHPI». Series: System Analysis, Control and Information Technology” [1] (International Standard Serial Number ISSN 2079-0023) and abstract of the research is published in the Materials of the Third All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Information Systems and Management Technologies" (ISTU-2019) [2].

FLEXIBLE SCHEDULING, SHIFT SHEDULING, PLANNING, SCHEDULE THEORY, MINIMIZING THE TOTAL DEVIATION, HEURISTIC ALGORITHM, LINEAR INTEGER PROGRAMMING, BINARY LINEAR PROGRAMMING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
1 ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ	11
1.1 Місце та роль задач календарного планування у підприємстві	11
1.2 Календарне планування на підприємствах.....	12
1.2.1 Календарне планування у виробництві	12
1.2.2 Календарне планування у сфері обслуговування	14
1.3 Теорія розкладів в задачах календарного планування	15
1.4 Способи представлення календарних планів	19
1.5 Огляд задач змінно-добового планування.....	21
1.6 Огляд наукових досліджень та публікацій	23
1.7 Методи розв'язання задач змінно-добового планування.....	25
1.8 Огляд програмного забезпечення для планування графіків роботи.....	28
Висновки до розділу	30
2 МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ЗМІННО-ДОБОВОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ПЕРСОНАЛУ.....	31
2.1 Опис предметної області	32
2.2 Змістовне формулювання задачі.....	35
2.3 Математичні постановки задач.....	37
2.4 Опис алгоритмів	44
2.5 Використані засоби для побудови моделей та їх розв'язання.....	48
2.6 Приклади застосування підходів	49
2.7 Аналіз проведених експериментів.....	54
Висновки до розділу	59
3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	61
3.1 Вимоги до програмного забезпечення	61

	8
3.2 Вимоги до технічного забезпечення	62
3.3 Архітектура програмного забезпечення	63
3.4 Засоби розробки	64
3.5 Опис структури бази даних.....	65
3.6 Опис взаємодії з програмним забезпеченням	76
3.7 Тестування програмного забезпечення.....	80
Висновки до розділу	88
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	89
4.1 Опис ідеї проєкту	89
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	91
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	93
Висновки до розділу	93
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	96
ДОДАТОК А Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи.....	99
ДОДАТОК Б Графічний матеріал	100
ПЛАКАТ 1 Схеми інформаційних потоків у системах виробництва та надання послуг.....	101
ПЛАКАТ 2 Класифікація оптимізаційних моделей та алгоритмів.....	102
ПЛАКАТ 3 Математична модель та лінеаризація задачі 3.....	103
ПЛАКАТ 4 Схеми евристичного алгоритму підходу I.....	104
ПЛАКАТ 5 Схеми евристичного алгоритму підходу II	105
ПЛАКАТ 6 Схеми бази даних	106
ПЛАКАТ 7 Екранні форми	107

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГРРЧ	Гнучкий режим робочого часу або гнучкий графік роботи.
MRP	Material requirements planning (система планування матеріальних вимог).
ERP	Enterprise resource planning (система планування ресурсів підприємства).
ІС	Інформаційна система
ЕОМ	Електронна обчислювальна машина.
АСУП	Автоматизована система управління підприємством.
ЗЛП	Задача лінійного програмування.
ДП	Динамічне програмування.
Р	Polynomial (поліноміальний).
NP	Nondeterministic polynomial (недетермінований поліноміальний).
ПЗ	Програмне забезпечення.
ЗБП	Задача булевого програмування.
ЗЦЛП	Задача цілочислового лінійного програмування.
ЦФ	Цільова функція
API	Application programming interface (прикладний програмний інтерфейс)
БД	База даних

ВСТУП

Ефективне встановлення послідовностей та побудова розкладів стали необхідними для виживання підприємств в умовах нинішньої ринкової конкуренції. Наприклад, підприємства зазвичай намагаються якнайкраще виконати графік доставки, відповідно до залишених клієнтами запитів, оскільки в іншому випадку підприємство може зазнати значних фінансових втрат, що, в свою чергу, негативно впливає на його розвиток [3]. Підприємства повинні планувати свою діяльність ефективно використовуючи доступні їм ресурси (трудові, фінансові, матеріальні, нематеріальні та інформаційні). Багато сучасних підприємств та організацій пропонують своїм співробітникам гнучкий графік роботи.

Гнучкий графік роботи (або гнучкий режим робочого часу, ГРРЧ) – це форма організації робочого процесу, за якої встановлюється режим роботи з саморегулюванням часу початку, закінчення та тривалості робочого дня та який прийнятий для колективів або працівників окремих організацій або їх підрозділів [4]. ГРРЧ є перевагою як для працівників, так і для роботодавців. Зокрема, до найбільш поширених переваг належать висока продуктивність праці та більша прибутковість організації. Окрім того, ГРРЧ позитивно впливає на баланс між роботою та особистим життям, що спричиняє зменшення стресу та більш комфортну і щасливу атмосферу в колективі [5].

Процес оптимізації графіку роботи важливий для задоволення потреб у персоналі, виконання вимог щодо норм праці, врахування можливостей та побажань співробітників. Зазвичай такі графіки будуються в електронних таблицях чи календарях. За великої кількості співробітників це перетворюється на трудомісткий процес, в процесі якого існує ймовірність виникнення помилок через людський фактор [6]. Тож є актуальною проблема розробки та дослідження алгоритмів для побудови гнучких графіків роботи, а також ПЗ, що їх реалізує, для використання керівниками підрозділів з метою побудови оптимального графіку роботи.

1 ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ

1.1 Місце та роль задач календарного планування у підприємництві

Календарне планування є процесом прийняття рішень, що регулярно використовується у промисловому виробництві та індустрії сфери надання послуг. Процеси прийняття рішень займають важливу роль у торгівлі, закупівлях, виробництві, транспортній логістиці, обробці інформації, комунікаціях тощо.

Задачі теорії розкладів вирішуються за допомогою математичних прийомів та евристичних методів, які полягають у призначенні доступних ресурсів на виконання певних робіт, які необхідно виконати у задані проміжки часу. Призначення ресурсів має бути виконано таким чином, щоб досягти оптимального результату, що задовольняє один або більше критерії. Ресурси та роботи можуть набувати безліч різноманітних форм, деякі з яких наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Приклади ресурсів та робіт у різних системах

Система	Ресурси	Робота
Виробництво (фабрика, цех, дільниця)	Верстати	Технологічні операції
Залізничний вокзал	Колії	Прибуття та відправка потягів
Розробка програмного забезпечення (ПЗ)	Команда розробників	Етапи розробки та задачі
Багатопроцесорна обчислювальна система	Процесори	Виконання програм
Сервісні системи обслуговування клієнтів	Робітник	Замовлення клієнта

Кожна робота може мати певний пріоритет виконання, момент надходження та директивний термін. Цільова функція теж може приймати різні формулювання:

мінімізація часу завершення останньої роботи, мінімізація перевищень директивних термінів [3].

1.2 Календарне планування на підприємствах

На виробництві або у організації, що надає послуги, процес календарного планування має взаємодіяти з великою кількістю інших процесів. Взаємодія між процесами може суттєво відрізнятися при різних налаштуваннях у різних системах. Найчастіше ця взаємодія відбувається в межах комп'ютерної мережі, що забезпечує роботу підприємства. Звичайно, все ще існують випадки, коли обмін інформації між діяльністю планування та іншими процесами прийняття рішень, відбувається на нарадах або у паперовому вигляді [3].

1.2.1 Календарне планування у виробництві

Розглянемо загальне виробниче середовище та роль календарного планування в ньому. Нехай замовлення, що надходять у виробниче середовище, це роботи, що мають певний директивний термін. Ці роботи мають бути виконані на машинах у виробничому приміщенні у заданому порядку чи послідовності. Виконання роботи може іноді відбуватися з деякими затримками, якщо необхідні машини зайняті. Також, можуть виникати пріоритетні переривання, коли надходить робота з вищим пріоритетом, яка повинна бути виконана одразу. Потрібно також враховувати непередбачувані події у виробничому приміщенні, такі як поломка машини або перевищення очікуваного часу виконання, оскільки вони можуть суттєво впливати на розклад. За таких умов, розробка деталізованого розкладу робіт допомагає підтримувати ефективність та контролювати виконання робіт.

Виробниче приміщення не є єдиною частиною організації, що впливає на процес календарного планування. Він також піддається впливу процесу планування виробництва, що покриває середньо- та довготривалі періоди планування для всієї організації. Цей процес має оптимізувати загальний набір продуктів компанії та розподіл довгострокових ресурсів на основі рівня запасів, прогнозів попиту та потреб у ресурсах. Рішення, прийняті на цьому вищому рівні планування, можуть

безпосередньо впливати на процес більш деталізованого планування. На рисунку Б.1.1 зображено схему інформаційних потоків у системі виробництва.

У виробництві процес планування повинен взаємодіяти з іншими процесами прийняття рішень при виробництві. Однією з таких систем, яка широко використовується, є система планування матеріальних вимог (Material Requirements Planning, MRP). Після планування необхідно, щоб вся сировина та ресурси були доступні у визначений час. Дати готовності всіх робіт мають бути визначені системою планування виробництва або календарного планування спільно з MRP системою.

MRP системи зазвичай досить складні. Кожна робота має специфікацію матеріалів, які необхідні для виробництва. MRP система веде облік запасів матеріалів та визначає терміни закупівлі кожного з матеріалів, використовуючи інформацію про розмір партії та техніку планування партії, які подібні до тих, що використовуються для систем календарного планування. Є багато доступних комерційних програмних пакетів MRP, і, як наслідок, багато виробництв використовують MRP системи. У випадках, коли на виробництві відсутня система планування, MRP система може використовуватися в цілях планування виробництва. Однак скласти задовільний детальний розклад з детальними налаштуваннями у MRP системі не є простою задачею.

Сучасні підприємства часто використовують розроблену інформаційні системи, які складаються з комп'ютерної мережі, сервера та різних баз даних. Локальні мережі персональних комп'ютерів, робочих станцій та терміналів для введення даних, які підключені до центрального сервера, можуть використовуватися як для отримання даних з різних баз даних, так і для введення нових даних. Планування зазвичай відбувається на одному з персональних комп'ютерів або робочих станцій. Термінали, які розміщені в ключових місцях та підключені до комп'ютерів для планування, можуть надавати відділам підприємства доступ до поточної інформації про поточний розклад. Ці відділи, у свою чергу, можуть надавати системі планування актуальну інформацію про зміни в статусах робіт та машин або в кількості матеріальних запасів.

Сучасні компанії покладаються на розроблені системи планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning, ERP), які контролюють та координують потоки інформації на всіх рівнях та іноді також у їх постачальників та замовників. Системи підтримки прийняття рішень різного типу можуть бути пов'язані з ERP системою, що дозволяє компаніям виконувати довго-, середньо- та короткострокове планування. На розробці ERP систем спеціалізуються компанії SAP, J. D. Edwards та PeopleSoft [3].

1.2.2 Календарне планування у сфері обслуговування

Індустрія сфери надання послуг в багатьох аспектах відрізняється від індустрії виробництва, тому описати загальну організацію з надання послуг та її систему планування не так просто, як описати загальну систему виробництва. Діяльність планування в організації з надання послуг часто зіштовхується з багатьма різними проблемами. Ймовірно, потрібно буде мати справу з резервуванням ресурсів (наприклад, вантажівок, часових проміжків, кімнат для переговорів або інших приміщень), розподілом, призначенням та плануванням роботи обладнання (наприклад, спеціалізованого обладнання або призначення літаків на ворота), або розподілом та складанням розкладу роботи співробітників (наприклад, призначення змін співробітникам центру технічної підтримки).

Зазвичай алгоритми для планування у сфері надання послуг дуже відрізняються від тих, що використовуються у виробництві. Планування у сфері надання послуг часто пов'язане з управлінням об'ємами та доходами. У виробництві роботи можуть очікувати на виконання або бути виконані раніше, а в сфері надання послуг роботами є замовлення клієнтів, які не люблять очікувати. Зазвичай кількість ресурсів (як правило це машини) зазвичай фіксована, принаймні на короткі терміни, а в сфері обслуговування ця величина може змінюватися з часом (люди, кімнати, вантажівки) та навіть бути частиною цільової функції. Ще один аспект – факт відмови клієнту в наданні послуги є більш поширеною практикою, ніж не виконана доставка продукту клієнту.

Планування у сфері надання послуг (так само як і у виробництві) також повинно бути узгодженим з іншими процесами прийняття рішень, як правило, в рамках розроблених інформаційних систем (ІС). Ці ІС зазвичай покладаються на великі бази даних, які містять усю релевантну інформацію щодо доступності ресурсів, а також характеристик наявних та потенційних клієнтів. Система планування може взаємодіяти з модулями прогнозування та управління доходами (що не є поширеним у виробництві). На відміну від виробництва, у сфері послуг зазвичай немає інвентаризованих товарів, а відповідно немає системи MRP.

На рисунку Б.1.2 зображено інформаційні потоки в такій організації з надання послуг, як агентство з прокату автомобілів. Система агентства з прокату автомобілів є системою резервування робіт, в якій роботою є бронювання автомобіля на заданий проміжок часу. Існує ймовірність, що в певний момент агентство не зможе опрацювати всі наявні роботи (тобто підтвердити всі бронювання) і потрібно буде вирішити, які роботи опрацювати, а які – ні. При цьому критерієм зазвичай є опрацювання максимальної кількості робіт [3].

1.3 Теорія розкладів в задачах календарного планування

За часів Першої світової війни були винайдені діаграми Ганта, які використовувалися для порівняння графіків виробництва з їх реалізацією. Відтоді у виробництві розпочали використовувати планування та складання розкладів [3].

Відбувалися спроби формалізувати процес календарного планування, однак трудомісткість побудови календарних планів, багатоваріантність розв'язку, комбінаторна структура задач призвела до того, що процес розвитку теорії календарного планування призупинився. Винайдення електронних обчислювальних машин (ЕОМ), збільшення масштабів виробництв та укрупнення підприємств призвели до створення автоматизованих систем управління підприємствами (АСУП). Потреби у розробці ефективних підсистем календарного планування для АСУП спровокували розвиток теорії розкладів – теоретичної бази оптимального календарного планування. З'явилися нові моделі, що зображали різні типи реального виробництва, та нові методи. Теорія розкладів має багато сфер застосування, однак

історично так склалося, що теорія розкладів виникла і розвивалася на базі календарного планування підприємств, і як наслідок, широко використовує термінологію календарного планування [7].

Задачі теорії розкладів відрізняються своєю багатоваріантністю, наявністю критерія та тим, що з усіх можливих варіантів потрібно обрати той, для якого значення критерія досягає свого екстремального значення. Одну і ту ж задачу можна вирішувати, використовуючи різні критерії. Також, ці задачі зазвичай пов'язані з діяльністю людини, організації, підприємства у конкретний період часу, тобто при вирішенні цих задач здійснюють планування у часі. Ось чому на практиці ці задачі відомі під назвою задач календарного планування. Задачі теорії розкладів належать до класу комбінаторних задач упорядкування, для вирішення яких розроблено методи дискретної оптимізації. Набір моделей календарного планування та методів дискретної оптимізації називається теорією розкладів [7].

Система календарного планування виробництва підприємства може бути представлена у вигляді схеми, що наведена на рисунку Б.1.1. Якщо узагальнити наведену схему, то можна виділити три рівні деталізації:

- верхній: формування програми виробництва підприємства;
- середній: розподіл програми виробництва на планові періоди (квартали та місяці);
- нижній: планування роботи виробничих приміщень та учасників.

Для підприємств масового виробництва, що випускають один вид продукції у заданій кількості, різні рівні системи відповідають рівням деталізації планових завдань. Для підприємств, що випускають багато видів продукції, на кожному рівні системи вирішується одна чи кілька задач з метою визначити такий хід роботи виробництва, який оптимізував би техніко-економічні показники роботи підприємства.

На верхньому рівні системи вирішується задача формування оптимальної програми виробництва. Економічно-математична постановка задачі описує умови

виробництва. Зазвичай це задача лінійного програмування. Змінними є кількості виробів кожного виду, що виробляється. Обмеження можуть бути кількох типів:

- на ресурси (обмеження на час роботи обладнання, кількість кваліфікованого персоналу, виробничі місця і т. д.);
- на техніко-економічні показники (досягнення певних показників доходів або кількості виробленої продукції).

Метою вирішення задачі зазвичай є знаходження такого варіанту програми виробництва підприємства, який задовольняв би всі обмеження та при якому досягав би максимуму (мінімуму) необхідний техніко-економічний показник. Результати вирішення цієї задачі є вхідними даними для вирішення задачі середнього рівня.

В термінах теорії розкладів наведена задача називається задачею об'ємного планування. В постановці відсутні деталі, що стосуються технології виробництва, а тому задача зводиться до доволі нетрудомісткої задачі лінійного програмування (ЗЛП), яка вирішується ЕОМ. Однак, у більшості задач календарного планування ігнорування технології виробництва призводить до великої різниці між планом та умовами виробництва. Якщо в модель вводяться обмеження, які накладаються технологією, то задача стає нелінійною, а точний спосіб вирішення – доволі трудомістким [7].

На середньому рівні зазвичай вирішується задача розподілу плану виробництва на планові періоди (зазвичай це квартали та місяці). Метою вирішення задачі є забезпечення рівномірності роботи підприємства. Математична модель задачі значною мірою залежить від тривалості циклу виготовлення одного виробу.

Якщо цикл виготовлення виробу малий порівняно з плановим періодом, то технологію виготовлення виробу можна не враховувати. У цьому випадку розподіл програми на квартали – задача об'ємного планування. Постановка є аналогічною до задачі верхнього рівня, окрім того, що цільова функція ЗЛП – мінімізація відхилення завантаження ресурсів від середнього.

У випадку, якщо цикл виготовлення виробу більший за період планування, потрібно використовувати інший підхід. В даному випадку процес виготовлення виробу потрібно розбивати на частини, які виробляються в різних періодах планування. За таких умов у оптимальному розв'язку можна отримати неправильний порядок виготовлення виробу, невиправдані розриви у виготовленні і т. д. Введення додаткових обмежень для усунення цих порушень значно ускладнює задачу, а її вирішення стає неможливим. Тому має сенс застосувати модель об'ємно-календарного планування, яке враховує технологічний порядок виготовлення виробів.

Модель задачі об'ємно-календарного планування можна сформулювати наступним чином. Підприємству необхідно виготовити певну кількість виробів, кожен з яких проходить всі або деякі з підрозділів підприємства. Процес виготовлення виробу складається з кількох етапів. Етапом вважається виготовлення в деякому підрозділі. Є задана послідовність етапів, кожен з яких виконується тільки після завершення попереднього. Кожен етап виготовлення характеризується об'ємом робіт (трудомісткістю) та тривалістю. Для кожного підрозділу відома його потужність (кількість обладнання або людей). Необхідно скласти такий план виготовлення всіх виробів, який задовольняв би певний критерій оптимальності.

Зазвичай для кожного виробу задаються періоди надходження (терміни, раніше яких не можна починати виготовлення) та директивні терміни (терміни, до яких виріб має бути виготовлено).

Постановку задачі можна сформулювати наступним чином: скласти план виготовлення всіх виробів, у якому не порушувались би технічні обмеження, обмеження на потужність обладнання, періоди надходження та директивні терміни, за умови досягнення рівномірного навантаження підрозділів.

Якщо при формуванні програми виробництва максимізувати сумарне завантаження обладнання, то ми досягнемо мети. Однак отримати допустиме рішення для поставленої задачі іноді буває неможливо, оскільки оптимальний план верхнього рівня не завжди є виконуваним на середньому рівні. Тому на середньому рівні слід

шукати серед недопустимих «найменш недопустимий» за одним з критеріїв: мінімізувати сумарні втрати або штрафи за порушення директивних термінів або мінімізувати сумарну вартість збільшення потужності підрозділів. Описана задача зазвичай вирішується пошуковими методами (наприклад, метод гілок і меж), які зазвичай генерують наближені до оптимальних розв'язки.

Результатом розв'язку середнього рівня є календарний план виконання етапів по всіх підрозділах, з якого можна вибрати для кожного підрозділу ті етапи, які необхідно виконати в даний період планування. Після необхідної деталізації маємо вхідні дані для планування роботи підрозділів (цехів та ділянок). Через багатоманітність форм організації підрозділів складно описати всі моделі планування або узагальнити до однієї моделі. Широко поширені підрозділи, моделі яких зводяться до задач однієї машини, задачі про комівояжера або задач масового обслуговування [7].

1.4 Способи представлення календарних планів

Способи представлення календарних планів можна розбити на три великі групи:

- графічні: планувальний графік, стрічковий графік-хронограма, обліковий графік, графік Ганта, мережеві графіки;
- табличні;
- аналітичні: моделі математичного програмування, лінійного програмування, теорії масового обслуговування, динамічного програмування.

Планувальний графік схематично зображує виробничий процес: у кожному рядку вказується назва кожної роботи та проводиться лінія у заданому масштабі часу, яка вказує тривалість виконання роботи і прив'язана до календаря.

Стрічковий графік-хронограма призначений для обліку часу на одну роботу. На кожну операцію визначено певний час виконання, тож на графіку всі операції виставляються послідовно (одна за одною у кожному рядку) і навпроти кожної операції виставляється час, що необхідний для її виконання у вигляді відрізка стрічки.

Обліковий графік може використовуватися для обліку та регулювання ходу виконання плану. Обліковий графік є підвидом планувального графіка, у інтервалах якого виставляються стрічки, які показують фактичний хід виконання плану.

Графік Ганта є хронограмою, але не на одну роботу, а на повний набір робіт. У кожному рядку наведено робоче місце. Кожна операція представлена відрізком, довжина якого дорівнює тривалості операції у заданому масштабі часу. Цифри над відрізками позначають номер деталі та операції відповідно.

Мережеві графіки є дуже наглядними, простими та зручними для планування. На графіку роботи позначаються стрілками, а вузли вказують на черговість виконання робіт. Вузол означає подію моменту завершення всіх робіт-стрілок, що входять у вузол. Подія розділяє час виконання цих робіт від часу виконання робіт-стрілок, що виходять з вузла. Зазвичай інформація до мережевого графіка задається у вигляді таблиць.

Графічні способи не завжди є зручними для практичного застосування. Не завжди є зручним розміщувати всю необхідну інформацію на графіках, тому графіки потрібно супроводжувати таблицями. А також при збільшенні кількості робіт графіки є не дуже наглядними. Тому на практиці більш поширеними є табличні способи. До того ж, таблиці можна отримувати як вихідні дані з ЕОМ [7].

Для аналітичного дослідження календарного планування та пошуку методів їх вирішення переважно застосовуються математичні моделі календарного планування. Загальною задачею математичного програмування є задача оптимізації скалярної цільової функції при певних умовах та змінних, що задані у певному просторі [7]. Типова математична модель складається з змінних параметрів, обмежень та функції критерія, яка називається цільовою функцією. Розв'язком математичної моделі є такий набір значень змінних, який оптимізує (максимізує або мінімізує) цільову функцію та задовольняє всі обмеження. Такий набір змінних називається оптимальним допустимим розв'язком [8].

Якщо цільова функція та всі обмеження є лінійними функціями, то задача належить до лінійного програмування. Моделі лінійного програмування застосовуються переважно для розподілу однотипних робіт за групами однотипного обладнання – задачі об'ємного планування. Якщо змінні цілі, то модель є задачею цілочислового програмування (ЗЦЛП). Якщо цільова функція або обмеження нелінійні, то модель є задачею нелінійного програмування. Ці моделі рідко застосовуються так як не існує ефективних методів вирішення.

Моделі теорії масового обслуговування використовують апарат теорії ймовірностей та використовуються при вивченні стаціонарних процесів (плануванні крупносерійного та масового виробництва). Типовою задачею є визначення оптимальної кількості налагоджувачів на автоматизованій лінії.

Моделі динамічного програмування (ДП) відображають процеси, що протікають у часі і тому використовуються для опису календарних задач. З їх допомогою отримані прості алгоритми вирішення задач з однією машиною [7]. ДП визначає оптимальний розв'язок n -вимірної задачі шляхом її декомпозиції на n етапів, кожен з яких є підзадачею відносно однієї змінної. Обчислювальною перевагою такого підходу є те, що вирішуються одновимірні оптимізаційні підзадачі, а не велика багатовимірна задача. Модель ДП зазвичай є рекурентним рівнянням, яке пов'язане з певним етапом вирішення та гарантує, що кожний оптимальний допустимий розв'язок етапу є оптимальним і допустимим для вхідної задачі [8].

Детальну класифікацію оптимізаційних моделей (в тому числі, моделей задач теорії розкладів) наведено на рисунку Б.2.1 [9].

1.5 Огляд задач змінно-добового планування

Моделі систем сфери надання послуг умовно можна розділити на класи:

- моделі планування проєктів (є як в будівництві літаків, так і в управлінні консалтинговою компанією);
- моделі систем резервування та складання графіків;
- моделі складання розкладів турнірів та телевізійної трансляції;

- моделі планування перевезень;
- моделі планування в сфері охорони здоров'я (зокрема, в лікарнях);
- моделі планування трудових ресурсів (зокрема, графіку роботи персоналу) та інші.

Моделі планування трудових ресурсів є дуже важливим класом моделей в сфері надання послуг та можуть застосовуватися як для планування змін в сервісному центрі, так і для розкладу роботи екіпажів у перевезеннях. Планування трудових ресурсів полягає у призначенні персоналу на зміну з метою задоволення попиту на ресурси, які можуть змінюватися з часом.

М. Pinedo розглядає в книзі [3] кілька основних задач з планування графіку роботи співробітників: планування вихідних днів, планування змін, планування періодів, планування роботи команд, планування роботи операторів служби технічної підтримки. У загальній задачі планування графіку роботи співробітників період планування є фіксованим заздалегідь. Це може бути день, тиждень або навіть кілька тижнів. Наявні певні шаблони змін, кожен з яких має свою вартість, а метою є мінімізація загальних витрат. Визначений заздалегідь період складається з m часових інтервалів. Тривалість інтервалів може бути не однаковою. Протягом i -го інтервалу, $i = 1, \dots, m$, є необхідною присутність співробітників у кількості b_i , відповідно число b_i – ціле. Існує n різних шаблонів змін і кожен співробітник може бути призначений на один і тільки один шаблон. Шаблон зміни j визначений вектором $(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$. Значення a_{ij} рівне 1, якщо i -ий інтервал є робочим, в іншому випадку рівне 0. Нехай c_j – вартість призначення співробітника на j -ий шаблон зміни, а x_j – цілочисельна змінна, що позначає кількість співробітників призначених на j -ий шаблон зміни. Задача мінімізації сумарної вартості призначення співробітників, за умови задоволення потреб, є ЗЦЛП та належить до класу NP. Матриця A часто може мати особливу структуру. Наприклад, j -ий шаблон зміни може містити неперервний набір одиниць (без нулів між ними). До того ж число одиниць може бути різним, оскільки зміни можуть мати різну тривалість [10].

Н. Таһа у книзі [7] наводить задачу змінно-добового планування роботи автобусного парку, що належить до ЗЦЛП. Транспортна компанія міста вивчає можливості ввести таку систему руху міських автобусів, яка б зменшила проблему смогу шляхом зменшення кількості автобусів. Після збору необхідної інформації було виявлено, що мінімально необхідна кількість автобусів, яка необхідна для задоволення транспортних потреб жителів міста, коливається залежно від часу доби. Подальше вивчення показало, що ці значення можна апроксимувати кусково-неперервною функцією з постійними значеннями для чотирьох-годинних інтервалів. Також потрібно врахувати те, що кожен автобус повинен знаходитися на лінії неперервно лише 8 годин на день (1 робочу зміну). Отже, потрібно визначити кількість автобусів у кожному чотиригодинному інтервалі часу (змінні) так, щоб задовольнити мінімальні потреби в транспортних послугах (обмеження) при мінімальній кількості автобусів в межах доби. Можна розбити день на три послідовні зміни по 8 годин, та визначити кількість автобусів у кожній зміні максимальною серед мінімальних потреб в даний проміжок часу. А можна дозволити алгоритму налаштувати графік більш гнучким чином, дозволивши обирати найкращий час для початку зміни. В даному випадку зміна могла б починатися кожні чотири години. За таких умов кількість автобусів у кожен з чотиригодинних інтервалів визначається кількістю автобусів, що вийшли на зміну в даний інтервал та у попередній, оскільки тривалість зміни вдвічі довша за довжину інтервалу [7].

1.6 Огляд наукових досліджень та публікацій

Існує багато досліджень у найрізноманітніших сферах бізнесу на тему планування графіків роботи персоналу: від медичних установ та бібліотек до роздрібної торгівлі, будівельних проектів та заводів.

У роботі [11] використано програмування в обмеженнях для вирішення проблеми планування роботи медичних сестер. Задача планування роботи медичних сестер полягає у необхідності призначення медичних сестер на зміну, а палат на день, приймаючи строгі обмеження, наприклад вимоги лікарні та нестрогі обмеження, наприклад врахування побажання медичних сестер.

У дослідженні [12] проведено кейс-вивчення фабрики скла, яка складається з 7 відділів та 80 працівників. У роботі використано метод багатокритеріальної оптимізації з метою надання кращого обслуговування шляхом розподілу персоналу на зміну якнайкращим та збалансованим чином.

У статті [13] запропоновано модель планування, що полягає у призначенні екіпажів на авіа польоти та залізничні рейси, а також наведено розроблений евристичний алгоритм для її вирішення.

У роботі [14] описано планування графіку роботи операторів служби підтримки ІТ відділу великої компанії з метою зниження вартості трудових ресурсів шляхом визначення найкращого рівня персоналу та тижневих графіків виходів співробітників, що необхідні для задоволення навантаження, що змінюється протягом доби. Для призначення співробітників на зміни використовується ЗЦЛП.

У роботі [15] описано алгоритм планування на заданий період часу з врахуванням пріоритетів завдань залежно від індексу критичності обладнання, директивних термінів їх виконання та наявності необхідних технічних засобів з метою мінімізації сумарного запізнення.

У публікації [16] сформульовано задачу лінійного програмування, яка включає в себе планування робіт, з їх подальшим призначенням працівникам на основі індивідуальних вмінь та навичок, а також визначення робочих поїздок. Кожна робота має бажаний проміжок часу, в який вона має бути виконана і пов'язана з клієнтом, котрий має список працівників, яким він надає перевагу. Кожен працівник має вартість, перелік бажаних завдань та вікно робочого часу. Метою задачі є виконання завдань та одночасне мінімізація кількості непризначених завдань, відстані в дорозі, витрат працівників та максимального задоволення переваг клієнтів та робітників.

У роботі [17] запропоновано ефективний загальний евристичний підхід, що може бути використаний для вирішення задач теорії розкладів з цільовою функцією, що враховує як час завершення робіт, так і проміжний час завершення операцій. А у роботі [18] представлено евристичний табу пошук для задач планування, де критерієм

є мінімізація суми окремих опуклих функцій витрат, закріплених за часом початку операції та різницею між часом початку довільних пар операцій.

У дослідженні [19] запропоновано двокритеріальну змішану модель булевого програмування та розв'язок методом пошуку шляху для робочих станцій та заданим денним навантаженням, графіком роботи працівників, кількістю пристроїв на станції з метою мінімізації простоїв станції. У проєкті [6] використано концепцію багатокритеріальної оптимізації та цілочислове лінійне програмування для формулювання моделі побудови графіку роботи співробітників у бібліотеці, з критеріями мінімізації надлишкових годин, відпрацьованих співробітниками та максимізації відповідності їх побажанням з урахуванням необхідності задоволення потреб у персоналі у години пік.

1.7 Методи розв'язання задач змінно-добового планування

Алгоритми вважаються ефективними, якщо час вирішення задачі та необхідна пам'ять є степеневими функціями від її розмірності. Алгоритми, які є повним перебором усіх можливих варіантів, кількість яких експоненціально залежить від розмірності задачі, вважаються неефективними. Один і той же алгоритм може бути ефективним на одному класі задач та неефективним на іншому [10].

За обчислювальною складністю можна виділити два класи задач оптимізації: P та NP. До класу P (Polynomial) належать задачі, для яких існують алгоритми з поліноміальною складністю. Це відносно прості задачі, для яких існують точні та ефективні алгоритми. До класу NP (Nondeterministic polynomial) належать задачі, що можна розв'язати недетермінованим поліноміальним алгоритмом, який складається з двох етапів: знаходження припустимого варіанту розв'язку та його верифікація детермінованим поліноміальним алгоритмом [9].

Методи розв'язання оптимізаційних задач можна класифікувати багатьма способами, зокрема за точністю, типом обчислювальної схеми, складністю структури тощо. Класифікацію алгоритмів оптимізації за точністю наведено на рисунку Б.2.2. Точні алгоритми знаходять глобальний розв'язок. Наближені алгоритми можуть мати

оцінку точності (апріорну або апостеріорну), або не мати її (евристичні алгоритми). Точність знайденого евристичним алгоритмом розв'язку знайти неможливо, оскільки такі алгоритми будуються на правдоподібних міркуваннях [9]. Іноді в процесі використання евристичних алгоритмів вдається строго довести використовувані в ньому процедури.

За типом обчислювальної схеми наближені алгоритми поділяють на конструктивні (прямі, послідовні) та ітераційні (рис. Б.2.3). Конструктивні алгоритми формують розв'язок поступово. Ітераційні алгоритми на кожному кроці опрацьовують повні розв'язки. Ті з них, які на кожній ітерації опрацьовують лише один поточний розв'язок, називаються траєкторними, а ті, які опрацьовують кілька розв'язків одночасно, – популяційними [9].

За складністю структури алгоритмів оптимізації можна виділити:

- прості;
- комбіновані (послідовне застосування двох чи більше ітераційних алгоритмів з передаванням розв'язків від одного до іншого);
- метаввристичні (комбінування алгоритмів таким чином, що один є провідним, а інший/інші є підлеглим);
- гібридні метаввристичні;
- гіперевристичні (методи пошуку, орієнтовані на автоматизацію процесів вибору, комбінування або адаптації чи налаштування кількох простіших алгоритмів для ефективного розв'язання оптимізаційної задачі).

Серед оптимізаційних алгоритмів за впливом на ландшафт пошуку виділяють наступні варіанти модифікацій:

- без змін (більшість алгоритмів);
- зміна простору розв'язків (послідовні алгоритми);
- зміна цільової функції (керований локальний пошук);
- варіація системи околів (локальний пошук зі змінними околами).

Розрізняють задаче-орієнтовані та моделі-орієнтовані алгоритми.

Точні алгоритми можна поділити на загальні методи та спеціальні алгоритми. До загальних методів належать повний перебір, метод гілок та меж, послідовний аналіз варіантів, динамічне програмування. Спеціальні алгоритми враховують специфіку конкретних оптимізаційних задач та мають вузький спектр застосування [9]. Точні методи при вирішенні задач великої розмірності не можуть гарантувати отримання кінцевого результату за задовільний час, так як зі збільшенням кількості змінних та обмежень трудомісткість алгоритмів різко зростає. На практиці застосовують переважно наближені алгоритми, оскільки задачі планування, проектування та керування характеризуються переважно великою розмірністю і в більшості своїй не можуть бути зведені до сукупності задач меншої розмірності. Частіше всього розв'язки отримані наближеними методами задовольняють практичним запитам, а на їх пошук витрачається набагато менше ресурсів. Варто також врахувати той факт, що моделі лише приблизно описують реальність [10].

Необхідність розробки ефективних наближених алгоритмів зумовлена також низкою причин:

- майже всі важливі задачі належать до класу NP;
- цільові функції задач мають велику кількість локальних екстремумів;
- часто вхідні дані задаються з похибками, тому обчислювальні затрати точних алгоритмів не є доцільними;
- ідеї наближених алгоритмів дозволяють вирішувати не лише одну задачу, а цілий клас близьких за постановкою задач;
- є класи задач, що породжені проблемою з директивним терміном, тобто їх розв'язок має знаходитися до певного часу;
- існує клас динамічних задач, в яких значення цільової функції доступне лише в процесі розв'язання задачі або може змінюватися з часом [9].

Основні (найуживаніші на практиці) наближені алгоритми можна розділити на 7 класів: послідовні алгоритми, детермінований локальний пошук, стохастичний локальний пошук, еволюційні алгоритми, ройові алгоритми, методи сканування, спеціальні методи [9].

До факторів, які впливають на вибір алгоритму розв'язання слід віднести: складність математичної моделі задачі, розмірність та трудомісткість, наявність директивних термінів отримання розв'язку, можливість використання наявного ПЗ, потужність доступних засобів обчислювальної техніки, наявність кваліфікованих фахівців [9].

1.8 Огляд програмного забезпечення для планування графіків роботи

За останні роки розроблено безліч ПЗ для календарного планування. В різних країнах світу воно використовується в підприємстві або розроблено для дослідницьких цілей. Загалом системи календарного планування можна розділити на три групи: універсальні системи, спеціалізовані системи та наукові прототипи.

Універсальні системи призначені для використання в найрізноманітніших ситуаціях та передбачають мінімум налаштувань. Розробники таких систем зазвичай не пов'язані з однією клієнтською компанією, але можуть бути направлені на вирішення задач певних галузей. Наприклад, MS Project, Jira та Primavera призначені для управління проєктами, але можуть мати і інші застосування.

Багато спеціалізованих систем були розроблені разом з їх науковими прототипами. Алгоритми, що закладені в такі системи зазвичай детально прописані та здатні вирішувати лише специфічні для певної області задачі. Насправді, існує багато цікавих спеціалізованих систем, які були розроблені для конкретних компаній (наприклад сфера авіаційних перевезень), але про які нам нічого невідомо через те, що зазвичай компанії не публікують їх досягнення в наукових статтях.

Наукові прототипи зазвичай розробляються для проведення дослідів або в навчальних цілях. Програмістами таких систем є аспіранти, які працюють на півставки. Дані системи дуже відрізняються від комерційних. Деякі наукові прототипи впливають значною мірою на архітектуру та проєктування певних комерційних систем. Більшість відомих наукових прототипів є системами для планування робіт [3].

Таблиці Microsoft Excel є хорошим та зрозумілим інструментом для планування графіків роботи та проєктів. До того ж його надбудову Solver можна використовувати для лінійних та нелінійних задач невеликої розмірності, але з певними обмеженнями на кількість змінних. Вхідні та вихідні дані задаються в таблиці. Надбудова є дуже привабливою у використанні для тих, хто звик використовувати таблиці. [10]

AMPL – мова алгебраїчного моделювання, яка надає велику гнучкість в моделюванні та виконанні великих та складних моделей лінійного та нелінійного програмування. [10]

Primavera – ПЗ, що спроектоване для підтримки потреб управління проєктами організацій, яке використовується для управління та контролю проєктів, відслідковування ресурсів, матеріалів та обладнання, яке використовується в проєкті. Primavera переважно використовується в організаціях, які управляють великою кількістю проєктів одночасно або для обробки дуже великих і складних проєктів. Наприклад, в машинобудівництві та будівництві. У роботі [20] наведені результати опитування проєктних менеджерів сфери будівництва у місті Ербіль, Ірак. Результати опитування свідчать про те, що 78% респондентів віддають перевагу більш простому та зрозумілому ручному плануванню в електронних таблицях, оскільки не мають достатніх знань, щоб використовувати такий потужний інструмент. Primavera використовують лише 2% опитаних, а от MS Project є трохи популярнішим – 13%.

MS Project – система управління проєктами, якою користуються проєктні менеджери для: побудови плану виконання робіт, розрахунків бюджету, планування та розподілу ресурсів за завданнями, відстежування прогресу та аналізу ризиків і об'ємів робіт. Система створює розклади критичного шляху, які можуть враховувати використання ресурсів. Побудовані розклади виглядають як діаграма Ганта. До переваг MS Project можна віднести легкість його використання та вартість, а до недоліків – обмеженість функціоналу [21].

Jira – система для управління проєктами та часто використовується розробниками для планування, розробки та випуску програмного продукту. В системі

передбачено робочі процеси управління проєктами за методологіями Scrum та Kanban [22].

GeoCon soft – набір програм для планування та обліку робочого часу, який містить певні звіти, планування графіків змінності та обліку сумарного робочого часу. Також містить модуль для порівняння запланованого часу з фактично відпрацьованим часом та внесення оперативних змін у графік по мірі наставання різних обставин.

Висновки до розділу

У даному розділі описано місце календарного планування на підприємствах та розглянуто схеми інформаційних потоків у системах виробництва та надання послуг, виділено їх відмінності. Проведено аналіз існуючих методів представлення календарних планів. Наведено огляд моделей, методів та досліджень на тему календарного планування. Розглянуто типові задачі змінно-добового планування. Виконано огляд аналогів ПЗ для календарного планування.

2 МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ЗМІННО-ДОБОВОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ПЕРСОНАЛУ

В даному розділі наведено велику кількість формул, тому для простоти їх сприйняття всі позначення, що використовуються далі, зібрано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Позначення та їх зміст

№	Позначення	Зміст	Примітка
1	d	Тривалість періоду планування в годинах	Наприклад, 24, 48, 96
2	r	Тривалість інтервалу в годинах	Наприклад, 2, 1, 0.5
3	h	Тривалість зміни в годинах	Наприклад, 9,8
3	g	Кількість інтервалів часу	$g = \frac{d}{r}$
4	t	Тривалість зміни в інтервалах	$t = h \cdot \frac{g}{d} = \frac{h}{r}$
5	k	Порядковий номер інтервалу	$k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
6	a_k	Потреба у співробітниках в k -й інтервал	$k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
7	e_k	Зсув відносно початку відліку порядкового номера інтервалу, з якого починається підрахунок змін для k -го інтервалу часу	$e_k = k + 1 - t$, $k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
8	x_i	Кількість співробітників, що починає працювати (виходить на зміну) в i -й інтервал	$i \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
9	S	Кількість співробітників	
10	\underline{c}	Мінімальний номер інтервалу, з якого може початися обідня перерва	
11	\bar{c}	Максимальний номер інтервалу, в який може закінчитися обідня перерва	Іноді $\bar{c} = \underline{c}$
12	c	Тривалість обіду в інтервалах	
13	j	Порядковий номер співробітника	$j \in \{0, 1, \dots, S - 1\}$

№	Позначення	Зміст	Примітка
14	s_j	Номер інтервалу, в який j -ий співробітник виходить на робочу зміну,	$j \in \{0, 1, \dots, S - 1\}$
15	y_{ji}	маркер присутності j -го співробітника в i -ий інтервал часу на робочому місці: 0 – відсутній, 1 – присутній	$j \in \{0, 1, \dots, S - 1\},$ $i \in \{0, 1, \dots, g - 1\}.$
16	u_k	Додаткова змінна для в k -го інтервалу	$k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
17	A_k, B_k, C_k	Позначення для підрахунку змін k -го інтервалу	$k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
18	D_k, E_k	Позначення для підрахунку перерв k -го інтервалу	$k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$
19	F_j	Сума елементів j -го рядка матриці y , що належать до дозволених меж планування перерв	$j \in \{0, 1, \dots, S - 1\}$

2.1 Опис предметної області

Предметом дослідження є методи календарного планування роботи співробітників з гнучким графіком роботи. Метою дослідження є організація роботи штату супермаркету з метою мінімізації витрат оплати робочого часу співробітників за умови забезпечення роботи супермаркету. Для того, щоб торгівельне підприємство було конкурентоспроможним, йому необхідно без великих часових затримок задовольняти запити клієнтів, потік яких є неперервною змінною величиною, що змінюється протягом доби, але яку можна вважати сталою в межах інтервалів часу заданої тривалості, що слідує один за одним.

Отже, доба розбита на k інтервалів заданої тривалості, для кожного інтервалу відома мінімальна кількість робітників, здатних виконати встановлений обсяг робіт (надалі «потреба»). Інтервал – значення дискретної одиниці часу планування, початок зміни може починатися тільки на початку одного з інтервалів. Враховуючи

особливості процесу планування на практиці зазвичай розглядаються інтервали тривалістю 1 година (24 інтервали пронумеровані від 0 до 23) або 30 хвилин (48 інтервалів пронумерованих від 0 до 47). На рисунку 2.1 наведено приклад мінімально необхідної кількості співробітників, якими можна задовольнити потреби функціонування супермаркету для кожного з одногодинних інтервалів доби.

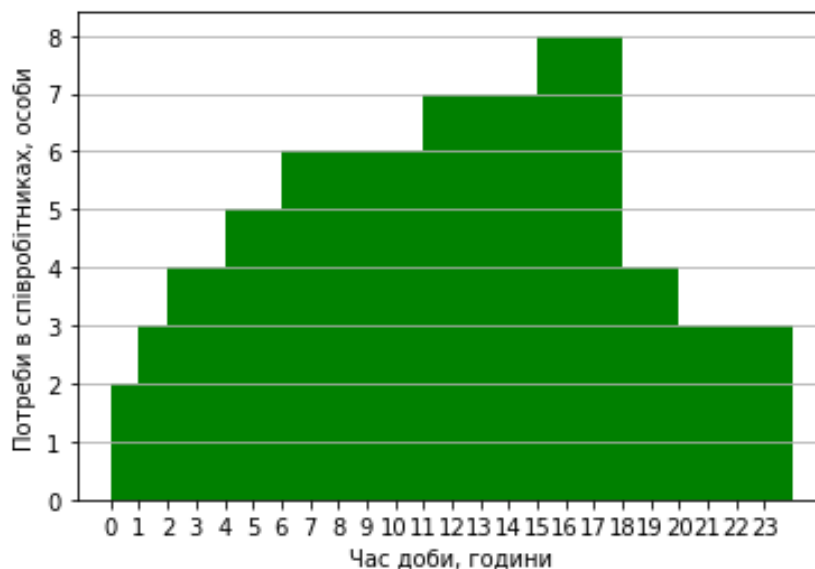


Рисунок 2.1 - Приклад залежності мінімальної кількості співробітників від часу доби

Нормальна тривалість робочого часу працівників не може перевищувати 40 годин на тиждень [22]. При п'ятиденному робочому тижні тривалість щоденної роботи (далі – зміни) не повинна перевищувати 8 годин, тому доцільним буде встановити фіксовану тривалість зміни у 8 годин. Напередодні святкових і неробочих днів тривалість зміни деяких категорій працівників скорочується на одну годину і в загальному випадку становитиме 7 годин. Зміна може тривати до 12 годин.

Понаднормові години оплачуються вищою ставкою, та не повинні перевищувати 120 годин на рік для кожного працівника. Понаднормові години також не повинні перевищувати чотирьох годин протягом двох днів підряд [22]. Відпрацьований понад норму тривалості робочого часу за обліковий період, вважають понаднормовим. Робота понад норму робочого часу, передбаченого графіком в окремі дні, тижні, місяці облікового періоду, в разі збереження норми

робочого часу за обліковий період, не є понаднормовою. Вважатимемо, що обліковий період становить місяць, а відповідно понаднормовими вважатиметься сума години, що перевищують місячну норму годин.

Сума запланованих годин для кожного співробітника на місяць може перевищувати місячну норму, але бажано цього уникати. Місячна норма тривалості робочого часу є розрахунковою та залежить від тривалості робочого тижня (п'ятиденний чи шестиденний) та тривалості щоденної норми роботи.

Працівникам надається перерва для відпочинку і харчування тривалістю 1 година або не більше 2 годин. Перерва повинна надаватись, як правило, через 4 години після початку роботи. Час початку і закінчення перерви встановлюється правилами внутрішнього трудового розпорядку, тому можливі такі варіанти розміщення перерви:

- через задану кількість інтервалів після початку робочої зміни;
- в заданому проміжку інтервалів робочої зміни, в середині якого є допустимим планування перерви, тобто обід має бути заплановано не раніше і не пізніше ніж через задану кількість годин після початку зміни.

Метою є формування такого графіку роботи співробітників, за якого:

- цільова функція А: досягає мінімуму сумарне перевищення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу (надалі «сумарне перевищення»), тобто потреба має бути обов'язково задоволена, якщо це можливо;
- цільова функція Б: досягає мінімуму сумарне відхилення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу (надалі «сумарне відхилення»), тобто потреба може бути задоволена не цілком у разі недостатньої кількості співробітників і неможливості повного забезпечення потреб.

Може виникнути ситуація, коли кількість співробітників є такою, що їх силами неможливо задовольнити мінімальні потреби у кількості співробітників. В такому випадку, в якості критерію оцінки розкладів слід розглядати лише другий критерій.

2.2 Змістовне формулювання задачі

З урахуванням вищезазначеного можна сформулювати три постановки задач, починаючи з найпростішої, з подальшим ускладненням шляхом введення додаткових обмежень та ускладненням критерію оцінки.

Задача 1. Зміна заданої тривалості

Задача 1.А. Визначити кількість співробітників у кожному з інтервалів на добу, яка повинна бути не меншою мінімальної потреби в них, за умови, що тривалість зміни є сталою величиною та досягає мінімуму сумарне перевищення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

Задача 1.Б. Визначити кількість співробітників у кожному з інтервалів на добу, за умови, що тривалість зміни є сталою величиною, а штат співробітників обмежений та досягає мінімуму сумарне відхилення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

Задача 2. Зміна заданої тривалістю та з фіксованою обідньою перервою

Задача 2.А. Визначити кількість співробітників у кожному з інтервалів на добу, яка повинна бути не меншою мінімальної потреби в них, за умови, що тривалість зміни є сталою величиною з обідньою перервою посеред зміни та досягає мінімуму сумарне перевищення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

Задача 2.Б. Визначити кількість співробітників у кожному з інтервалів на добу за умови, що тривалість зміни є сталою величиною з обідньою перервою посеред зміни, а штат співробітників обмежений та досягає мінімуму сумарне відхилення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

Задача 3. Зміна заданої тривалістю та плаваючою обідньою перервою

Визначити кількість співробітників у кожному з інтервалів на добу за умови, що тривалість зміни є сталою величиною з обідньою перервою, що запланована в заданому проміжку посеред зміни, а штат співробітників обмежений та досягає мінімуму сумарне відхилення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

В задачі 1 графік будується без врахування обідніх перерв. Оскільки рішення про час настання перерви приймає менеджер, який в реальному часі може оцінити потік клієнтів, таке послаблення обмежень може бути ефективним. На відміну від задачі 1.Б, в задачі 1.А не враховуються наявні обмеження на кількість співробітників. Задача 1.А є найпростішою, і її результати можуть використовуватися як оціночні для більш складних моделей. Так, оскільки її розв'язок повністю забезпечує потреби у персоналі, то вона може бути використана для визначення мінімально необхідної кількості співробітників та подальшого прийняття відповідних кадрових рішень. Задача 1.Б враховує обмеження на кількість співробітників, саме тому в цій задачі за мету береться мінімізація відхилення від потреб, а не їх перевищення, щоб уникнути ситуацій, коли не існує допустимих розв'язків через недостатню кількість персоналу.

Задача 2 враховує наявність обідніх перерв, які для всіх співробітників починаються в один і той же час: через задану кількість інтервалів після початку робочої зміни. Задача 2.А, аналогічно задачі 1.А, не враховує обмеження на штат співробітників та може бути використана для оцінки необхідної кількості співробітників. Задача 2.Б враховує обмеження на кількість співробітників.

Задача 3 відрізняється від попередньої тим, що обідні перерви співробітників є плаваючими, тобто можуть бути заплановані через різні проміжки часу після початку робочої зміни. Завдяки цьому, розв'язок задачі 3 може приймати менші значення критерія у порівнянні з відповідним розв'язком задачі 2. Будемо розглядати лише критерій відхилення.

2.3 Математичні постановки задач

Нехай, задано тривалості в годинах: d – період планування, r – тривалість одного інтервалу та h – тривалість зміни. В наведених математичних постановках за одиницю часу прийнято інтервал, тому потрібно здійснити перехід від годин до кількості інтервалів. Для тривалості періоду планування потрібно скористатися формулою:

$$g = \frac{d}{r}.$$

Для тривалості зміни:

$$t = h \cdot \frac{g}{d} = \frac{h \cdot d}{d \cdot r} = \frac{h}{r}.$$

Зміни, які «переходять» на наступну добу мають бути враховані у цільовій функції та обмеженнях задач. У таблиці 2.2 для розповсюджених значень g, h, t наведено величини зсуву відносно початку відліку порядкового номера інтервалу, з якого починається підрахунок змін для k -го інтервалу часу (далі – зсуву), $k \in \{0, 1, \dots, t - 2\}$.

Таблиця 2.2 – Розрахунки зсуву для розповсюджених значень g та h

Тривалість інтервалу	g	h	t	Значення зсуву	при k
60 хв	24	9	9	$g - 1 - (7 - k) = 24 + 16 + k$	$k < 9$
60 хв	24	8	8	$g - 1 - (6 - k) = 17 + k$	$k < 8$
30 хв	48	9	18	$g - 1 - (16 - k) = 31 + k$	$k < 18$
30 хв	48	8	26	$g - 1 - (14 - k) = 33 + k$	$k < 16$

Введемо позначення для величини зсуву відносно початку відліку порядкового номера інтервалу, з якого починається підрахунок змін для k -го інтервалу часу:

$e_k = k + 1 - t$, тоді для загального випадку, при $e_k < 0$ номер інтервалу, з якого необхідно починати підрахунок: $g - 1 - (t - 2 - k) = g + k + 1 - t = g + e_k$.

Задача 1.А

Дано g, t, a_k, e_k (див. табл. 2.1). Нехай x_i – кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$. Введемо наступні позначення:

$$A_k = \begin{cases} \sum_{i=e_k}^k x_i, & \text{для } e_k \geq 0, \\ 0, & \text{для } e_k < 0 \end{cases},$$

$$B_k = \begin{cases} \sum_{i=g+e_k}^{g-1} x_i, & \text{для } e_k < 0, \\ 0, & \text{для } e_k \geq 0 \end{cases},$$

$$C_k = \begin{cases} \sum_{i=0}^k x_i, & \text{для } e_k < 0, \\ 0, & \text{для } e_k \geq 0 \end{cases}.$$

Цільова функція (ЦФ):

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} (A_k + B_k + C_k - a_k).$$

Обмеження на забезпечення потреби у співробітниках в k -й інтервал часу:

$$B_k + C_k \geq a_k, e_k < 0, k \in \{0, 1, \dots, t - 2\},$$

$$A_k \geq a_k, e_k \geq 0, k \in \{t - 1, \dots, g - 1\}.$$

Обмеження на цілочисельність та невід'ємність змінних:

$$x_i \geq 0, \text{ цілі}, i \in \{0, 1, \dots, g - 1\}. \quad (2.1)$$

Задача 1.А належить до класу ЗЦЛП.

Задача 1.Б

Дано g, t, S, a_k, e_k (див. табл. 2.1). Нехай x_i – кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$. ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} |A_k + B_k + C_k - a_k|. \quad (2.2)$$

Обмеження на загальну кількість співробітників:

$$\sum_{i=0}^{g-1} x_i \leq S. \quad (2.3)$$

Обмеження на цілочисельність та невід'ємність змінних (2.1).

Задача 1.Б може бути зведена до ЗЦЛП шляхом введення додаткових змінних та обмежень. Перетворимо задачу 1.Б таким чином, щоб позбутися від суми модулів у ЦФ (2.2). Замінімо вираз модуля під сумою на u_k :

$$|A_k + B_k + C_k - a_k| = u_k.$$

Отримаємо ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

Розкривши модуль, отримаємо дві групи обмежень, які накладаються на u_k :

$$A_k + B_k + C_k - a_k \leq a_k,$$

$$-(A_k + B_k + C_k - a_k) \leq a_k.$$

Перенесемо змінні в праву частину, а вільні коефіцієнти – в ліву:

$$A_k + B_k + C_k - u_k \leq a_k,$$

$$A_k + B_k + C_k + u_k \geq a_k.$$

Отримана задача належить до класу ЗЦЛП.

Задача 2.А. Дано $g, t, a_k, e_k, \underline{c}, \bar{c}, c$ (див. табл. 2.1). Нехай x_i – кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$. Введемо наступні додаткові позначення:

$$D_k = \begin{cases} \sum_{i=e_k+\underline{c}}^{e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k \geq -\underline{c} \\ \sum_{i=0}^{e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k < -\underline{c} \end{cases},$$

$$E_k = \begin{cases} \sum_{i=g+e_k+\underline{c}}^{g+e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k \leq g-1+\bar{c} \\ \sum_{i=g+e_k+\underline{c}}^{g-1} x_i, & \text{для } e_k > g-1+\bar{c} \end{cases}.$$

ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} (A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k).$$

Обмеження на забезпечення потреби у співробітниках в k -й інтервал часу:

$$B_k + C_k - E_k \geq a_k, e_k < 0, k \in \{0, 1, \dots, t-2\},$$

$$A_k - D_k \geq a_k, e_k \geq 0, k \in \{t-1, \dots, g-1\}.$$

Обмеження на цілочисельність та невід'ємність змінних (2.1).

Задача 2.А належить до класу ЗЦЛП.

Задача 2.Б. Дано $g, t, S, a_k, e_k, \underline{c}, \bar{c}, c$ (див. табл. 2.1). Нехай x_i – кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$. ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} |A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k|. \quad (2.4)$$

Обмеження на загальну кількість співробітників (2.3), обмеження на цілочисельність та невід'ємність змінних (2.1).

Задача 2.Б може бути зведена до ЗЦЛП шляхом введення додаткових змінних та обмежень. Перетворимо задачу 2.Б таким чином, щоб позбутися від суми модулів у ЦФ (2.4). Замінімо вираз модуля під сумою на u_k :

$$|A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k| = u_k.$$

Отримаємо ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

Розкривши модуль, отримаємо дві групи обмежень, які накладаються на u_k :

$$A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k \leq a_k,$$

$$-(A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k) \leq a_k.$$

Перенесемо змінні в праву частину, а вільні коефіцієнти – в ліву:

$$A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - u_k \leq a_k,$$

$$A_k + B_k + C_k - D_k - E_k + u_k \geq a_k.$$

Отримана задача належить до класу ЗЦЛП.

Задача 3

Для визначення кількості співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, запропоновано два підходи, які передбачають послідовне розв'язання двох оптимізаційних задач.

Підхід I:

- задача I.3.1: задача визначення кількості співробітників, в якій не враховується наявність обідніх перерв та мінімізується сумарне перевищення. У випадку, коли кількість співробітників є такою, що

забезпечення потреб є неможливим, слід розглянути аналогічну задачу з критерієм мінімізації сумарного відхилення.

- задача I.3.2: задача, в якій у знайденому в попередній задачі розв'язку необхідно розставити перерви таким чином, щоб досягти мінімального сумарного відхилення.

Підхід II:

- задача II.3.1: задача визначення кількості співробітників, в якій під обідні перерви виділено інтервал, в рамках якого дозволено ставити перерву співробітнику;
- задача II.3.2: задача, в якій у знайденому в попередній задачі розв'язку необхідно розставити перерви таким чином, щоб досягти мінімального сумарного відхилення.

Задача I.3.1

В загальному випадку це задача 1.А, окрім того, що наявне ще обмеження на загальну кількість співробітників (2.3). Якщо кількість співробітників є такою, що їх силами неможливо задовольнити мінімальні потреби у кількості співробітників, слід вирішувати задачу, в якій мінімізується сумарне відхилення – задача 1.Б.

Задача I.3.2

Дано $g, S, a_k, \underline{c}, \bar{c}, c, x_i, s_j$ (див. табл. 2.1), x_i –розв'язок задачі I.3.1, а s_j обчислено на основі x_i . Нехай y_{ji} – маркер присутності j -го співробітника в i -й інтервал часу на робочому місці: 0 – відсутній, 1 – присутній, $j \in \{0, 1, \dots, S-1\}, i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$.

ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} \left| \sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - a_k \right|. \quad (2.5)$$

Введемо наступне позначення для визначення тривалості перерви:

$$F_j = \begin{cases} \sum_{i=s_j+\underline{c}}^{g-1} y_{ji} + \sum_{i=0}^{\bar{c}} y_{ji}, \text{ якщо } \underline{c} - s_j < g < \bar{c} + s_j \\ \sum_{i=s_j+\underline{c}}^{s_j+\bar{c}} y_{ji}, \text{ в іншому випадку} \end{cases}.$$

Обмеження на тривалість обіду для j -го співробітника:

$$F_j = c, j \in \{0, 1, \dots, S - 1\}.$$

Обмеження на булевість та невід'ємність змінних:

$$y_{ji} \in \{0,1\}, i \in \{0, 1, \dots, g - 1\}.$$

Обмеження на кількість співробітників завжди виконуватиметься, оскільки воно вже є серед обмежень задачі I.3.1, тому не є необхідним додавати його в задачу I.3.2.

Задача I.3.2 може бути зведена до задачі булевого програмування (ЗБП). Перетворимо її таким чином, щоб позбутися від суми модулів у ЦФ (2.5). Прирівняємо модуль під сумою до u_k :

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - a_k = u_k.$$

Отримаємо ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

Розкривши модуль, отримаємо дві групи обмежень, які накладаються на u_k :

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - a_k \leq u_k,$$

$$-(\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - a_k) \leq u_k.$$

Перенесемо змінні в праву частину, а вільні коефіцієнти – в ліву:

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - u_k \leq a_k,$$

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} + u_k \geq a_k.$$

Отримана задача належить до класу ЗБП.

Задача П.3.1

Задача П.3.1 – це задача 2, для якої слід вважати, що $c = \bar{c} - \underline{c}$, незважаючи на умову задачі 3.

Задача П.3.2

Задача аналогічна задачі І.3.2, де x_i – це розв’язок задачі П.3.1, відповідно вона теж зводиться до ЗБП.

2.4 Опис алгоритмів

Використання точного алгоритму для вирішення задачі 3 є коректним лише для випадку, коли тривалість обідньої перерви рівна одному інтервалу. Оскільки неможливо вказати за допомогою обмежень ЗБП, що два або більше обідні інтервали мають йти послідовно один за одним, ця умова має забезпечуватися в ході виконання алгоритму. Ще одним з недоліків точного алгоритму є те, що він мінімізує лише сумарне відхилення від потреб. Це означає, що в окремо взятий інтервал часу відхилення можуть бути досить великими, що є не дуже добре для реальних умов. Отже, є необхідною розробка алгоритму, який би вирішив наведені вище недоліки.

Узагальнена схема евристичного алгоритму підходу І вирішення задачі 3

Етап 1. Побудувати розв’язок задачі І.3.1 точним методом.

Етап 2. Доки є «непройдені» співробітники, знайти максимальну суму непройденої комбінації з s «сусідніх» відхилень та знайти співробітника, якому ще не призначено перерву та якому може бути його призначено для знайдених інтервалів. Якщо знайдено співробітника, обнулити відповідні y_{ji} та позначити його «пройденим», а якщо не знайдено, то позначити «пройденою» знайдену комбінацію відхилень.

Деталізований алгоритм евристичного вирішення задачі I.3.2

```

1  Вхід:  $g, S, c, \underline{c}, \bar{c}$ ,
2       $\mathbf{s} = (s_0, s_1, \dots, s_{S-1})$ 
3       $\mathbf{a} = (a_0, a_1, \dots, a_{g-1})$ 
4       $\mathbf{b} = (b_0, b_1, \dots, b_{g-1})$  // поточне відхилення від потреб
5       $\mathbf{Y} = \begin{matrix} y_{0\ 0} & \dots & y_{0\ g-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{S-1\ 0} & \dots & y_{S-1\ g-1} \end{matrix}$  // матриця робочих змін
6       $\mathbf{Y}' = \begin{matrix} y_{0\ 0} & \dots & y_{0\ g-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{S-1\ 0} & \dots & y_{S-1\ g-1} \end{matrix}$  // матриця з призначеними обідами
7       $\mathbf{q} := \text{diff}(\mathbf{b})$  // обчислити суми відхилень для обідніх інтервалів
8       $\mathbf{w} := (0, 1, \dots, S-1)$  // позначити співробітників непройденими
9       $\mathbf{m} = \text{sum}(\mathbf{Y})$  // обчислити кількість співробітників для інтервалів
10     while(length of  $\mathbf{w} \neq 0$ ): // поки є непройдені співробітники
11          $i := \text{index of max } q$  // для інтервалу з найбільшою сумою
12          $f = \text{false}$  // маркер існування співробітника для інтервалу
13         for each  $j$  in  $\mathbf{w}$ : // для всіх непройдених співробітників
14             if  $y_{ji} \neq 0$  and  $\text{check}(s_j, \underline{c}, \bar{c}, i, c, g)$  // якщо можливо
15                 for  $k_t$  from  $i$  to  $i + c$ : // для обідніх інтервалів
16                      $k = k_t$ 
17                     if  $k_t \geq g$ :  $k = k_t - g$  // врахувати зсув
18                      $y'_{jk} = 0$  // призначити перерву
19                      $m_k -= 1$  // зменшити кількість співробітників

```

```

20           $b_k = m_k - a_k$           // обчислити відхилення
21           $q_k := \text{diff}(\mathbf{b})$       // та суми обідніх відхилень
22           $f = \text{true}$                   // позначити існування співробітника
23           $\mathbf{w.remove}(j)$           // позначити співробітника пройденим
24           $\text{break}$                     // зупинити пошук
25          if not  $f$ :  $q_i = \text{null}$  // якщо співробітника не існує, позначити пройденим
26   $\text{calculate}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$           // обчислити значення ЦФ

```

Сума відхилень для обідніх інтервалів розраховується для i -го інтервалу як сума відхилень інтервалів від поточного до інтервалу $i + c$, з врахуванням зсуву e_k .

Умовами можливості призначення j -му співробітнику починаючи з i -го інтервалу c послідовних інтервалів обідніми з урахуванням зсуву e_k є те, що j -му співробітнику ще не призначено обід та ці інтервали належать до меж можливих обідніх інтервалів для j -го співробітника з врахуванням зсуву.

Узагальнена схема евристичного алгоритму підходу II вирішення задачі 3

Етап 1. Побудувати розв'язок задачі П.3.1 точним методом.

Етап 2. Для інтервалів, у яких відхилення від потреби є від'ємне, доставити 1 у u_{ji} , обираючи щоразу найбільше відхилення, за умови, що у кожного співробітника залишаться нульовим стільки інтервалів, скільки потрібно для обіду та які будуть йти послідовно один за одним.

Етап 3. Для кожного співробітника проставити 1 в u_{ji} для інтервалів, що залишилися.

Деталізований алгоритм евристичного вирішення задачі П.3.2

```

1  Вхід:  $S, c, \underline{c}, \bar{c}$ 
2       $\mathbf{s} = (s_0, s_1, \dots, s_{S-1})$ 
3       $\mathbf{Y} = \begin{matrix} y_{0\ 0} & \dots & y_{0\ g-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{S-1\ 0} & \dots & y_{S-1\ g-1} \end{matrix}$           // матриця робочих змін
4       $\mathbf{a} = (a_0, a_1, \dots, a_{g-1})$ 

```

```

5       $\mathbf{b} = (b_0, b_1, \dots, b_{g-1})$  // поточне відхилення від потреб
       $y_{0\ 0} \quad \dots \quad y_{0\ g-1}$ 
6  Вихід:  $\mathbf{Y}' = \begin{pmatrix} \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{S-1\ 0} & \dots & y_{S-1\ g-1} \end{pmatrix}$  // матриця з призначеними обідами
7   $\mathbf{q} = \mathbf{b}$  // вектор маркерів інтервалів
8   $\mathbf{w} = (0, 1, \dots, S-1)$  // позначити співробітників непройденими
9   $\mathbf{m} = \text{sum}(\mathbf{Y})$  // обчислити кількість співробітників для інтервалів
10 while(length of  $\mathbf{w} \neq 0$ ): // поки є непройдені співробітники
11      $i := \text{index of min } \mathbf{q}$  // для інтервалу з найменшим відхиленням
12      $f = \text{false}$  // маркер існування співробітника для інтервалу
13     for each  $j$  in  $\mathbf{w}$ : // для всіх непройдених співробітників
14         if  $y'_{ji} == 0$  and check( $y'_j, s_j, c, \underline{c}, \bar{c}, i, g$ ) // якщо можливо
15              $y'_{ji} = 1$  // призначити робочий інтервал
16              $m_i += 1$  // збільшити кількість співробітників
17              $q_i = b_i = m_i - a_i$  // обчислити відхилення
18              $f = \text{true}$  // позначити існування співробітника
19             break // зупинити пошук
20     else:
21         if check_lunch( $y'_{ji}$ ): // перевірка на залишок інтервалів
22              $\mathbf{w.remove}(j)$  // позначити співробітника пройденим
23         if not  $f$ :  $q_i = \text{null}$  // якщо співробітника не існує, позначити пройденим
24 calculate( $\mathbf{a}, \mathbf{b}$ ) // обчислити значення ЦФ

```

Умовами можливості позначення j -му співробітнику i -го інтервалу робочим є:

- i -й інтервал належить до меж можливих обідніх інтервалів для j -го співробітника з врахуванням зсуву;
- $y'_{ji} = 0$;
- у разі призначення у j -го співробітника ще лишиться c сусідніх інтервалів для перерви.

2.5 Використані засоби для побудови моделей та їх розв'язання

Було проаналізовано існуючі засоби та програмні бібліотеки для точного розв'язку ЗЦЛП та ЗБП. Для розв'язання показових прикладів цілком було б достатньо надбудови Solver для MS Excel. Але цей спосіб є доволі трудомістким та містить людський фактор, що в більшості випадків призводить до помилок. До того ж абсолютно не підходить для проведення експериментів на великій кількості задач, оскільки відсутні можливості для автоматизації процесу генерування вхідних даних та запуску експериментів, принаймні без знання мови програмування Visual Basic. Ця мова призначена для написання застосунків з графічним інтерфейсом для Windows і не дуже підходить для програмування алгоритмів. Незважаючи на те, що MS Excel має чудовий прикладний програмний інтерфейс (API) для створення надбудов на JavaScript, можливість взаємодії з Solver в ньому поки що нема.

Для вирішення побудованої моделі (ЗЦЛП та ЗБП) серед безлічі існуючих спеціалізованих мов моделювання, звичайних програмних бібліотек та розв'язувачів для вирішення було обрано розв'язувач Operations Research Tools (OR-Tools) від Google. OR-Tools – це ПЗ з відкритим кодом, призначене для вирішення задач комбінаторної оптимізації (а саме маршрутизації транспортних засобів, задачі мережеских потоків, цілочислового та лінійного програмування, програмування в обмеженнях та побудови розкладів) [24]. До вагомих переваг OR-Tools належать:

- наявність змістовної документації з прикладами побудови тих чи інших моделей;
- всеосяжність, гарна структурованість та легкість у використанні
- можливість побудови моделі на одній з мов програмування: C++, Python, C# або Java, що дозволяє вставити код моделі у більші програми, наприклад у веб або мобільні застосунки (відсутня необхідність трансформування моделі, що створена мовою моделювання для поєднання з рештою застосунку);
- можливість використання всіх потужностей обраної мови програмування (мови моделювання зазвичай дуже обмежені);

- те, що написана одного разу модель може бути вирішена обраним нами розв'язувачем, а обирати можна як серед безкоштовних SCIP, GLPK, GLOP, CP-SAT або комерційних Gurobi та CPLEX;
- можливість демонстрації результатів у зрозумілому форматі;
- наявність спільноти для обговорення та вирішення можливих проблем при користуванні.

Розв'язання задач цілочислового програмування за допомогою OR-Tools складається з кроків:

- імпортувати обгортки `pywraplp` для лінійних розв'язувачів;
- оголосити розв'язувач (в нашому випадку це Coin-or branch and cut (CBC) розв'язувач, що входить до складу OR-Tools);
- визначити змінні (тип, межі та назву);
- визначити обмеження та їх коефіцієнти;
- визначити цільову функцію (тип та значення) та коефіцієнти при змінних;
- викликати розв'язувач;
- вивести результат.

Обрано мову Python для використання бібліотеки OR-Tools, оскільки вона ідеально підходить для аналізу даних та візуалізації результатів експериментів, зокрема для побудови графіків використано бібліотеку Matplotlib. Matplotlib – це Python пакет для відображення графіків, який має різноманітні формати виведення даних, кілька типів графіків та можливість запускатися як інтерактивно в консолі так і неінтерактивно вбудовуватися у веб-застосунки [25].

2.6 Приклади застосування підходів

Наведемо лише приклад розв'язання задачі 3 застосовуючи два підходи до розв'язання її розв'язання, використовуючи точні та евристичні алгоритми.

Підхід I

Приклад розв'язання задачі I.3.1. Нехай мінімальні потреби для i -го інтервалу приймають значення, що наведені в таблиці 2.3, робочий день триває 9 годин, а доба розбита на інтервали тривалістю 1 година ($g = 24$, $t = 9$). Кількість співробітників 14 ($S = 14$).

Таблиця 2.3 – Вхідні дані прикладу задачі I.3.1 та I.3.2

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a_i	2	3	4	4	5	5	6	6	6	6	6	7
i	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
a_i	7	7	7	8	8	8	4	4	3	3	3	3

На рисунку 2.2 наведено ілюстрацію графіку роботи та значення знайденого розв'язку зі значенням сумарного відхилення 5.

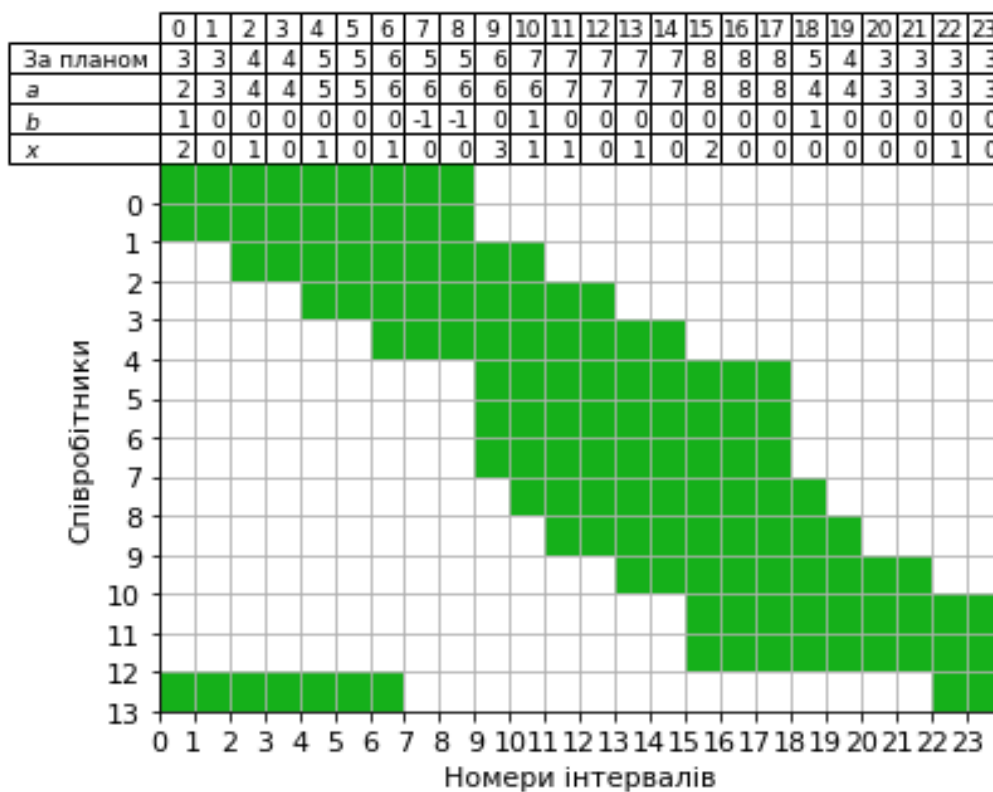


Рисунок 2.2 – Результат розв'язку прикладу задачі I.3.1

Приклад розв'язання задачі I.3.2. Нехай номери інтервалів s_j , в які j -й співробітник починає робочий день, приймають значення, що наведені в таблиці 2.4, а $g = 24, t = 9$ – як в прикладі I.3.1. Обідні перерви тривалістю 1 година ($c = 1$) мають починатися не раніше ніж після третьої години роботи та закінчуватися не пізніше ніж через 6 годин після початку робочого дня співробітника ($\underline{c} = 3, \bar{c} = 5$).

Таблиця 2.4 – Вхідні дані прикладу задачі I.3.2

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s_j	0	0	2	4	6	9	9	9	10	11	13	15	15	22

Дана ЗБП може вирішуватись одним з відомих точних методів (метод Гоморі, гілок та меж тощо). В роботі запропоновано евристичний алгоритм її розв'язання. Точним методом було знайдено оптимальний розв'язок з сумарним відхиленням 15 (значення ЦФ). Евристичний алгоритм теж знайшов розв'язок з аналогічним значенням критерія. На рисунках 2.3 та 2.4 наведено ілюстрації графіку роботи та значення знайденого розв'язку точним та евристичним алгоритмами відповідно.

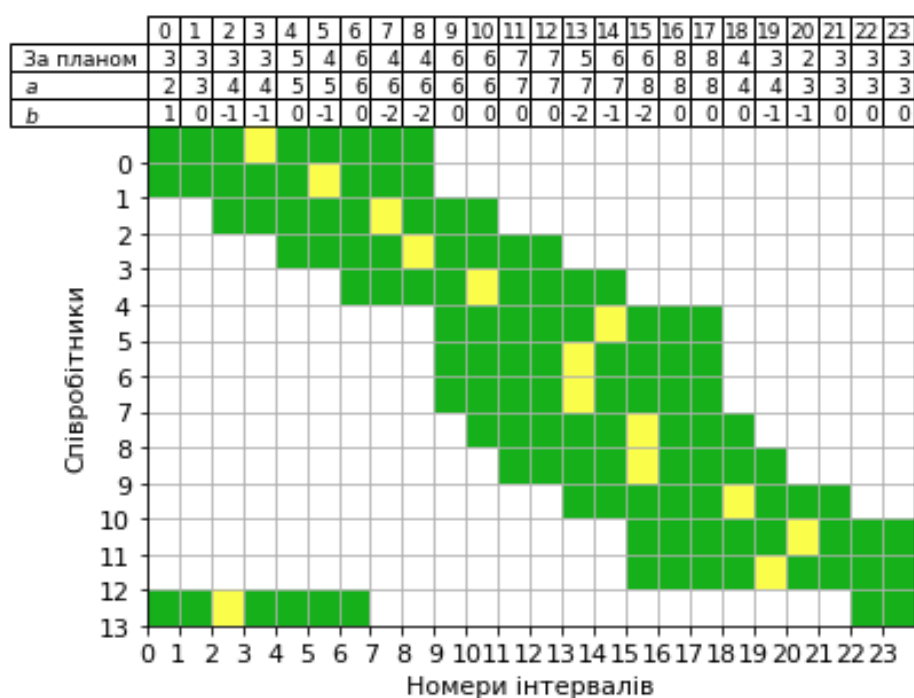


Рисунок 2.3 – Результат розв'язку прикладу задачі I.3.2 точним алгоритмом

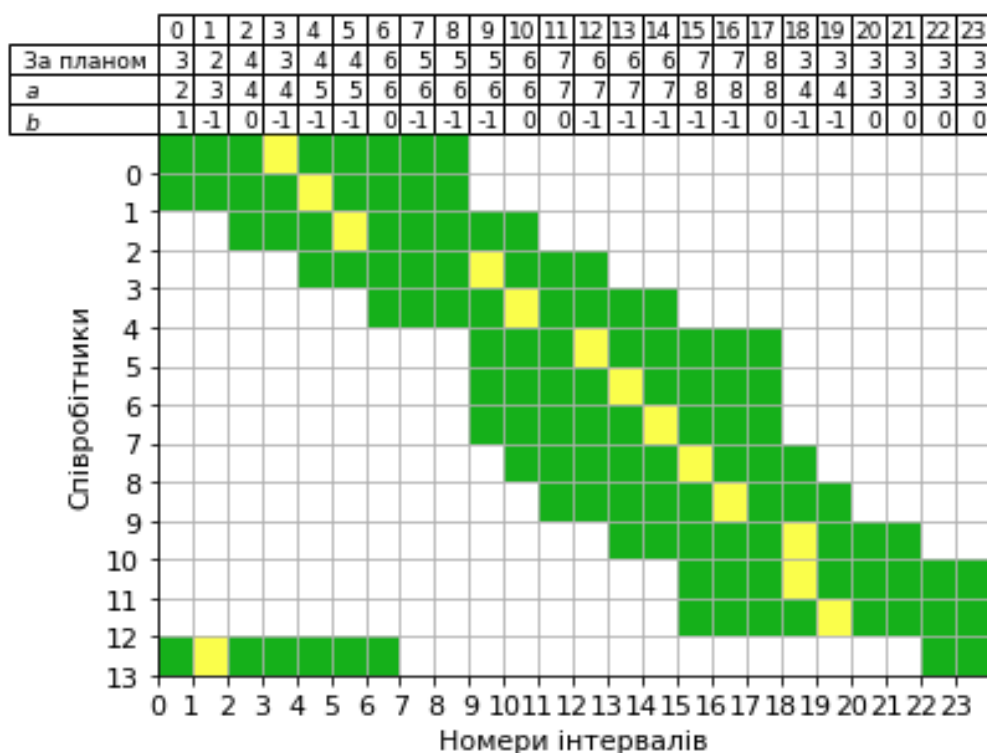


Рисунок 2.4 – Результат розв’язку прикладу задачі І.3.2 точним алгоритмом

Підхід II

Приклад розв’язання задачі II.3.1. Нехай x_i (див. табл. 2.3), g, t, S приймають значення як в прикладі І.3.1, а \underline{c}, \bar{c} – як в І.3.2. Дана ЗБП може бути вирішена точним методом, а також запропонованим у роботі евристичним алгоритмом. Було знайдено оптимальний розв’язок з сумарним відхиленням 41. На рисунку 2.5 наведено ілюстрацію графіку роботи та значення знайденого розв’язку.

Приклад розв’язання задачі II.3.2. Нехай номери інтервалів s_j , в які j -й співробітник починає робочий день, приймають значення, що наведені в таблиці 2.5, g, t – як в прикладі II.3.1. Обідні перерви тривають 1 годину ($c = 1$).

Таблиця 2.5 – Вхідні дані прикладу задачі II.3.2

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s_j	3	3	3	4	6	6	6	6	9	12	12	14	16	21

Точним та евристичним алгоритмом було знайдено оптимальні розв'язки з сумарним відхиленням 27 (значення ЦФ). На рисунках 2.6 та 2.7 наведено ілюстрації графіку роботи та значення знайденого розв'язку точним та евристичним методами.

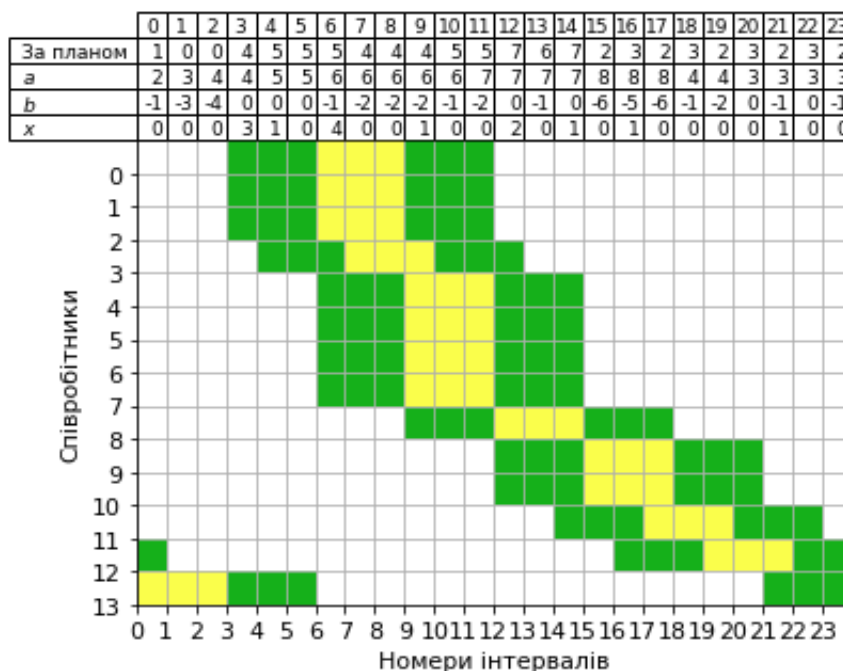


Рисунок 2.5 – Результат розв'язку прикладу задачі II.3.1

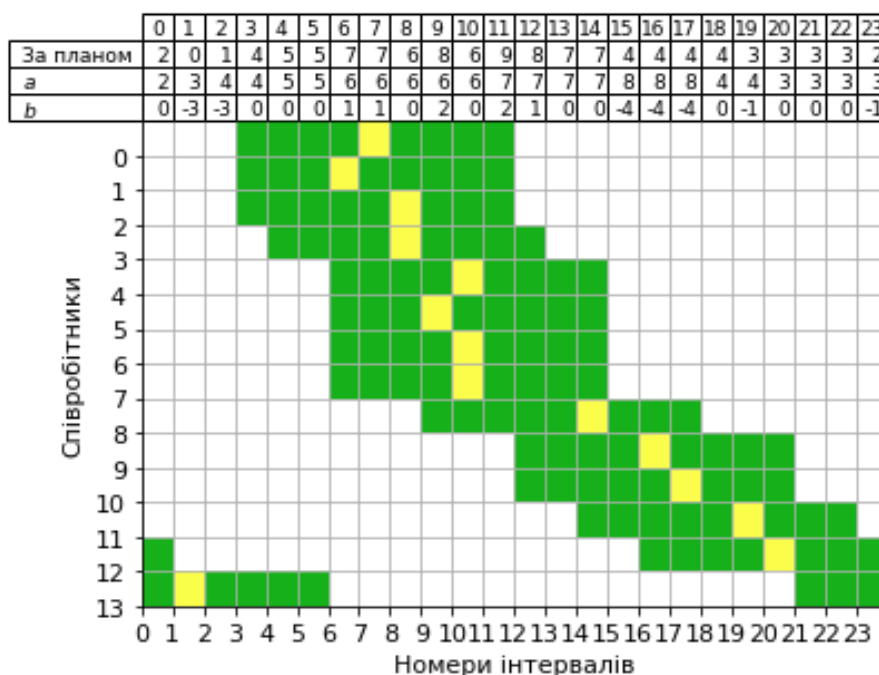


Рисунок 2.6 – Результат розв'язку прикладу задачі II.3.2 точним алгоритмом

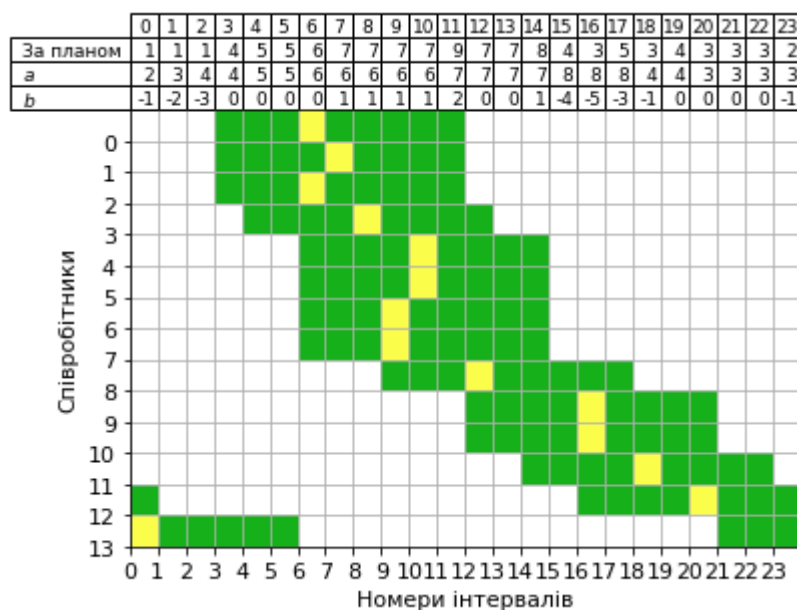


Рисунок 2.7 – Результат розв’язку прикладу задачі 3.2 евристичним алгоритмом

2.7 Аналіз проведених експериментів

Для проведення експериментів випадковим чином було згенеровано набір вхідних даних з 50 індивідуальних задач. Значення величин мінімальних потреб для кожного діапазону інтервалів генерувалися у визначених межах. На рисунку 2.8 для кожного інтервалу показані межі величин a_k , $k \in \{0, 1, \dots, g - 1\}$. Радіус кожного круга пропорційний частоті відповідного згенерованого значення потреб в співробітниках.

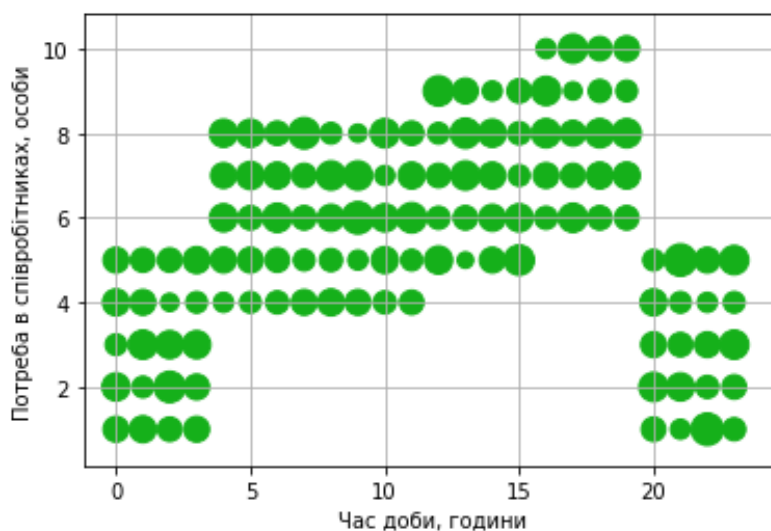


Рисунок 2.8 – Частота зустрічальності згенерованих значень

Перша серія експериментів порівнює розв'язки, отримані евристичними алгоритмами з розв'язками, що отримані точними методами. Експерименти проводились для множини індивідуальних задач з різними діапазонами, в яких допустимо планувати перерву при кількості співробітників 13, тривалості інтервалу 1 година, кількості інтервалів 24, тривалості зміни 9, а обідньої перерви – 1. Для моделі 2 прийнято, що перерва фіксовано починається у четвертий по порядку інтервал зміни. Середні значення сумарних відхилень наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Середні сумарні відхилення від потреб, отримані в експериментах з різними діапазонами для планування перерви

Модель (тип алгоритму)	Діапазон для планування перерви		
	4-5	3-5	3-6
2 (точний)	30.62		
I.3.2 (точний)	33.64	32.32	31.64
I.3.2 (евристичний)	33.64	32.36	31.68
II.3.2 (точний)	40.12	45.2	48.76
II.3.2 (евристичний)	42.02	46.74	50.1

На рисунку 2.9 наведено результати проведеної серії експериментів, на основі яких можна зробити висновок, що евристичний алгоритм підходу I є доволі ефективним та дає результати близькі до оптимальних. Моделі з незафіксованими перервами мали б давати менше значення ЦФ, проте цього не відбулося. Для підходу I це, в тому числі, пов'язано з тим, що у процесі розв'язання задачі I.3.1 іноді алгоритм будує графік не використовуючи весь потенціал штату співробітників. Алгоритм можна покращити, визначивши в ньому на 2 етапі умови додавання співробітників «з резерву». Для підходу I чим більше є варіантність розміщення обіду, тим ЦФ є меншою

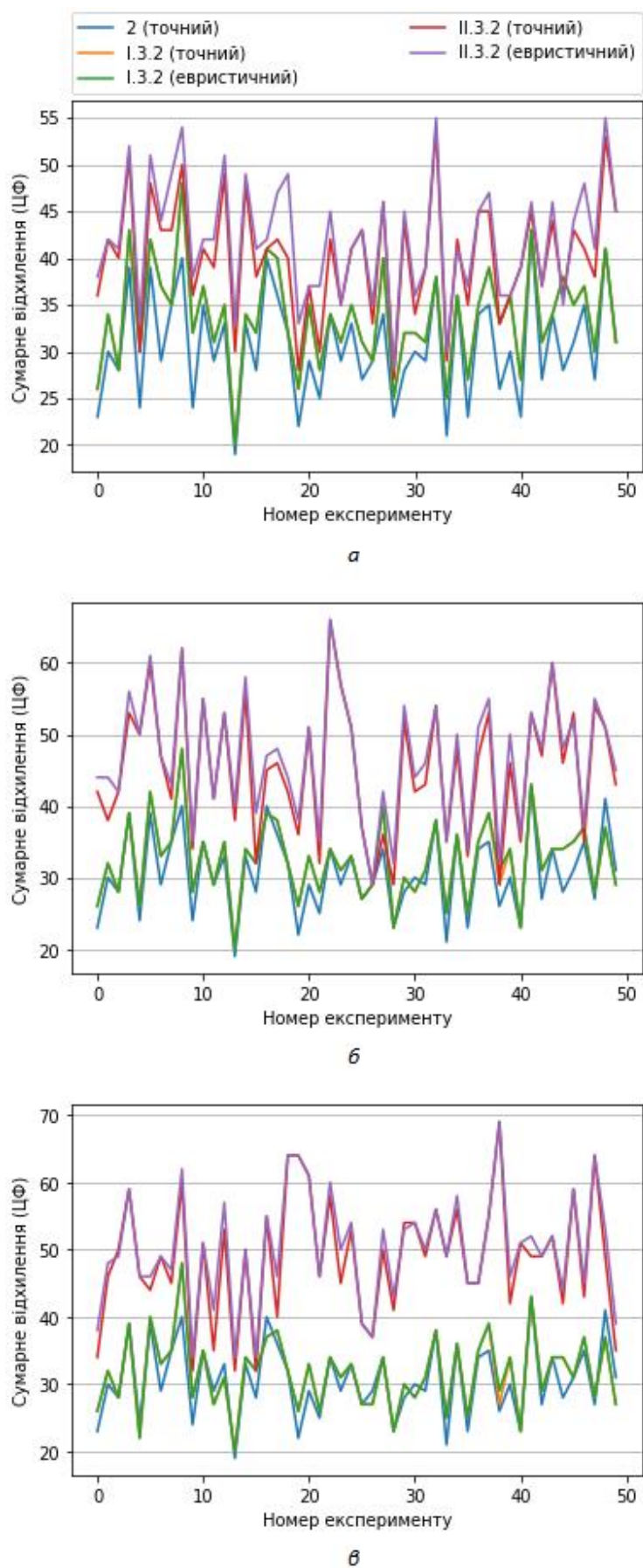


Рисунок 2.9 – Результати першої серії експериментів з різними діапазонами для планування перерви: *a* – з 4 по 5 інтервал, *б* – з 3 по 5, *в* – з 3 по 6

Щодо підходу II, додаткові експерименти показали, що для випадків, коли задано меншу кількість співробітників та тривалість обіду наближається до тривалості діапазону, в якому його дозволено планувати, значення ЦФ наближається до її оптимального значення. Тож цей алгоритм слід використовувати з обережністю та лише за певних умов. Як варіант покращення можна розглянути всі альтернативні розв'язки та обрати серед них той, який найбільше підходить для заповнення перерв на основі даних про відхилення в кожен інтервал або визначити цільову функцію задачі II.3.1 як різницю кількості інтервалів до заповнення та суми від'ємних відхилень проміжків.

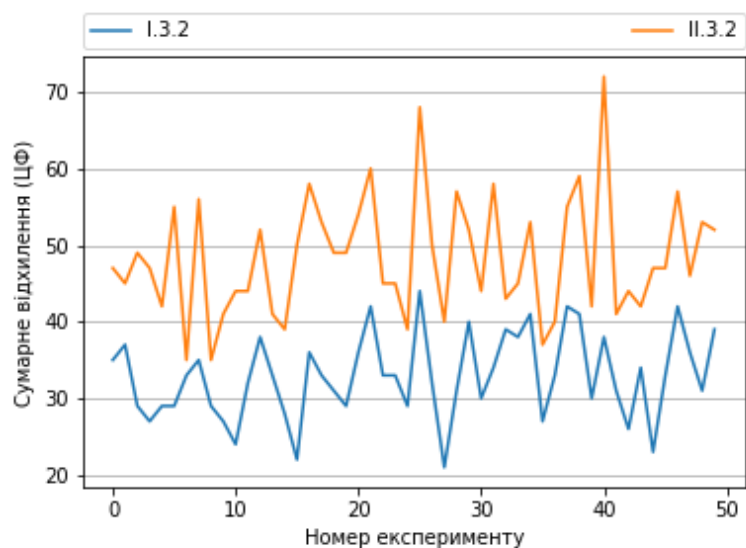
У другій серії експериментів варіювалися тривалості інтервалів та перерв (зі значенням більше ніж один інтервал), при кількості співробітників 13. На рисунку 2.10 наведено результати проведеної серії експериментів, а у таблиці 2.7 – значення середніх сумарних відхилень.

Таблиця 2.7 – Середні сумарні відхилення від потреб, отримані в експериментах з різною кількістю інтервалів

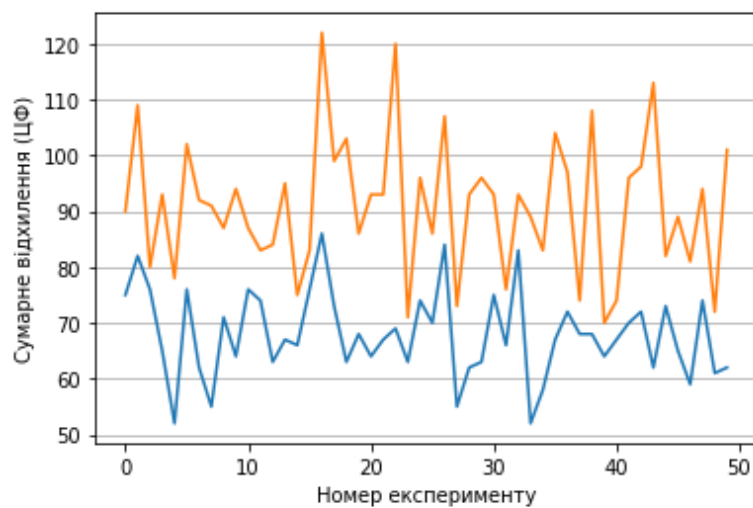
Кількість інтервалів / тривалість перерви (тривалість зміни та діапазон планування перерви)	Модель (тип алгоритму)	
	I.3.2	II.3.2
24 / 2 (зміна 9 з перервою з 3 по 5)	45.6	47.66
48 / 4 (зміна 18 з перервою з 6 по 11)	91.74	94.36
96 / 8 (зміна 36 з перервою з 12 по 23)	183.5	184.76

Значення критеріїв практично співпадають, що свідчить про практичну доцільність використання обох розроблених евристичних алгоритмів.

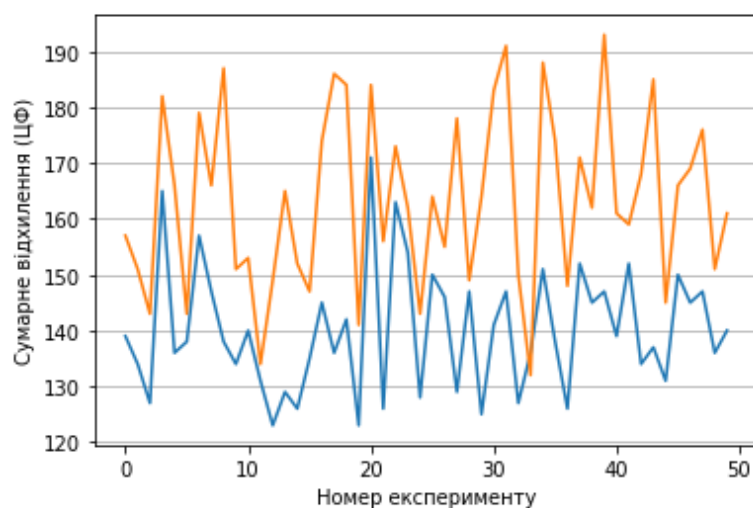
Перевагою запропонованих евристичних алгоритмів є те, що вони також мінімізують максимальне відхилення в кожен з інтервалів, тож хоч ЦФ і є гіршою, зате максимальне з відхилень є меншим порівняно з точним методом.



a



б



в

Рисунок 2.10 – Результати другої серії експериментів з кількістю інтервалів: *a* – 24,
б – 48, *в* – 96

У подальших дослідженнях планується розглянути випадки, в яких розв'язок був незадовільним та модифікувати алгоритми таким чином, щоб покрити більшу кількість випадків. Також в планах є розглянути інші задачі планування графіків роботи співробітників. Постановка цих задач відрізнятиметься від розглянутих задач додатковими обмеженнями, які хоч і ускладнять модель, але наблизять її до вирішення реальних задач. Наприклад: задача планування гнучких графіків, в якій необхідно цілком задовольнити потреби, задача планування гнучких графіків з робочими змінами різної тривалості або задача планування графіків роботи з врахуванням індивідуальних побажань співробітників.

Висновки до розділу

Розглянуто задачі змінно-добового планування графіку роботи співробітників з гнучким графіком, які є досить поширеними на практиці як у виробництві так і в організаціях сфери надання послуг: у торгівлі, закупівлях, промисловому виробництві, транспортній логістиці, обробці інформації, комунікаціях тощо.

Відповідно до аналізу предметного середовища сформульовано задачі визначення кількості співробітників у кожному з інтервалів за умови, що тривалість зміни є сталою величиною (задача 1,2,3) з обідньою перервою посеред зміни (задача 2,3), з обідньою перервою, що запланована в заданому проміжку посеред зміни (задача 3), а штат співробітників обмежений та досягає мінімуму сумарне перевищення (задача 1) або відхилення (задачі 2,3) кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби.

Детально розглянуто задачу 3 з «незафіксованими» обідами, для якої запропоновано два підходи, щодо визначення кількості співробітників, що виходять на зміну на початку кожного з інтервалів. Обидва підходи передбачають послідовне розв'язання двох оптимізаційних задач. В задачі I.3.1 необхідно визначити кількість співробітників за умови, що обідня перерва відсутня. В задачі II.3.1 необхідно визначити кількість співробітників за умови, що під обідню перерву виділено кілька інтервалів. В задачі I.3.2 та II.3.2 в знайдених розв'язках задач I.3.1 та II.3.1 відповідно необхідно розставити обіди таким чином, щоб досягти мінімального сумарного

відхилення реальної кількості співробітників від потреб. Були побудовані математичні моделі цих задач, проведено процес позбавлення від модуля, в результаті якого задачі звелися до лінійних задач ЗЦЛП та ЗБП.

Проведено аналіз часткових випадків задач I.3.1 та I.3.2, обґрунтовано необхідність розробки евристичних алгоритмів для їх вирішення. Розроблено евристичні алгоритми розв'язання. Результати експериментів показали їх ефективність. У планах подальших досліджень є розгляд можливостей покращення алгоритмів розв'язку розглянутих задач та дослідження пов'язаних з ними задач.

3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Вимоги до програмного забезпечення

Розробка будь-якого програмного забезпечення починається з переліку вимог. Дуже важливо ретельно пропрацювати кожну вимогу, оскільки ціна помилки на даному кроці може бути дуже великою. Неправильно визначивши вимоги, з дуже великою ймовірністю буде спроектовано таку ж архітектуру і для того, щоб внести зміни у проект на етапі передачі продукту необхідно буде або реалізовувати її не зовсім правильним чином або ж переписувати інші частини програмного коду, якщо не весь [26].

Функціональні вимоги до ПЗ описують що саме повинна робити система. У таблиці 3.1 наведено функціональні вимоги та пріоритети реалізації кожної з них.

Таблиця 3.1 – Специфікація високорівневих функціональних вимог

№	Вимога	Пріоритет
1	Створити форму для планування гнучких графіків. Графік роботи має плануватися раз на місяць з деталізацією даних на щоденній основі. Графік роботи заповнюється керівником філії в розрізі структури. Всі дані за робочими годинами вносяться на рівні групи, що потім групуються до рівня підрозділу та філії	Високий
2	Форма планування має містити: табельний номер, ПІБ, посаду, норму годин, суму годин, початок зміни та кінець зміни на певний день, відмітки за графіком з 30 хвилинним інтервалом	Високий
3	В формі має відбуватися розрахунок сумарної кількості співробітників, що має працювати в кожний проміжок часу в розрізі групи, підрозділу та філії	Високий
4	В формі має відображатися норма робочого часу за місяць за кожним співробітником	Середній

№	Вимога	Пріоритет
5	В формі має відбуватися розрахунок: кумулятивна сума запланованого часу на певну дату для кожного співробітника починаючи з початку місяця	Середній
6	В формі має відбуватися контроль запланованого робочого часу відповідно до нормативів робочого часу для кожного співробітника з певним інформуванням користувача	Середній
7	В формі має відбуватися блокування внесення даних в форму по робочим годинам при перевищенні вже запланованого часу починаючи з початку поточного місяць до нормативів	Низький
8	Форма планування графіків має зберігатися при натисканні кнопки «Зберегти»	Високий
9	В формі має бути можливість фільтрування за датою місяця, групою, підрозділом, філією та певним співробітником.	Середній
10	Форма, що вже містить всі дані по запланованим змінам роботи, має служити базовою для подальшого звіту план-факт.	Низький
11	Має бути можливість створити новий графік роботи на основі вибраного базового графіку, що був створений раніше	Низький
12	Має бути можливість створити зведений звіт за графіком роботи. Звіт має обов'язково містити початок та кінець зміни в розрізі кожного співробітника. У звіті має відбуватися розрахунок робочих годин за кожний день	Високий
13	Має бути можливість сформулювати звіт план/факт для порівняння запланованого графіка роботи з фактично відпрацьованим часом	Низький

3.2 Вимоги до технічного забезпечення

Необхідні вимоги до технічного забезпечення наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вимоги до технічного забезпечення

Характеристика	Задовільне значення	Мінімальне значення
Частота процесора	3 ГГц	2 ГГц
Об'єм оперативної пам'яті	16 ГБ	8 ГБ
Простір на жорсткому диску	100-150 ГБ	50 ГБ
Операційна система	Windows Server 2016, Windows 10	

3.3 Архітектура програмного забезпечення

Для розробки веб-застосунків традиційною є поширена клієнт-серверна архітектура. Клієнт-серверна архітектура розподіляє обчислення між двома типами незалежних та автономних ЕОМ: сервером та клієнтом. Дана архітектура дозволяє отримувати інформацію та дані з віддалених джерел та відіграє значну роль в розвитку інформаційних технологій. Компоненти архітектури можна поділити на два типи: логічні та фізичні. До фізичних компонентів належать сервер, пристрій клієнта, пристрої введення та виведення, комп'ютерна мережа та електроживлення. Логічні компоненти: веб-сторінки, дані, програмні скрипти, протоколи (Наприклад, HTTP, HTTPS) та API. [27].

Схема реалізованої клієнт-серверна архітектури наведена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Архітектура програмного забезпечення

3.4 Засоби розробки

Серверна частина веб-застосунку була розроблена на платформі .NET Core 2.2 на об'єктно-орієнтованій мові програмування C#, яка є кросплатформною. Для розробки веб-застосунків використано фреймворк ASP.NET Core 2.2, який є частиною платформи та призначений для створення сучасних, комплексних та масштабованих веб-застосунків [28].

Клієнтська частина веб-застосунку написана з використанням фреймворку Angular 2, який призначений для створення веб-клієнтів та багатофункціональних односторінкових застосунків. Його декларативний стиль дозволяє легко написати та додати нові функціональні елементи без великої кількості написаних вручну шаблонів [29]. Для написання безпосередньо програмного коду було обрано мову програмування TypeScript, яка є повністю інтегрована у фреймворк Angular 2. До переваг TypeScript, порівняно з JavaScript, можна віднести статичну типізацію мови.

Для створення та збірки Angular проекту було використано інструмент командного рядка Angular CLI 7.3.5 від Google, який допомагає зі створенням початкового проекту з усіма налаштуваннями для Webpack (інструмент для створення збірки), тестами та пакетами [30]. Наприклад, за допомогою цього інструмента, проект автоматично перезапускається при збереженні внесених змін.

Як сервер для запуску проекту при розробці було використано Node.js 10.15.3. Node.js має JavaScript ядро, що використовується браузером Google Chrome та надає програмний інтерфейс для виконання JavaScript коду поза середовищем браузера та є необхідним для веб-розробки [31]. До того ж npm, що входить до Node.js, дозволяє встановлювати пакети прямо з консольного рядка, а також допомагає керувати залежностями, оновлювати їх та виявляти невідповідності у версіях пакетів.

Як середовище розробки використано безкоштовний редактор з відкритим кодом Visual Studio Code, що призначений для розробки та відлагодження хмарних та веб-застосунків. Редактор підтримує більше ніж 30 мов програмування і при цьому

всьому дуже швидко встановлюється, має зручний у використанні інтерфейс та постійно вдосконалюється завдяки оновленням функціоналу [32].

Веб-застосунок розгорнуто на Internet Information Services (IIS) 10.0.

Веб-застосунок може бути підключений до будь-якої реляційної бази даних завдяки використанню Entity Framework Core. Було обрано реляційну БД MS SQL.

Для роботи з клієнтською частиною веб-застосунку (ведення графіків роботи) користувачу потрібно володіти комп'ютером на базовому рівні, зокрема вміти користуватися браузером, клавіатурою та маніпулятором миша.

3.5 Опис структури бази даних

У таблиці 3.3 наведено перелік сутностей БД, з якими працює розроблена ІС (всього 26 таблиць). Структурна схема БД наведена на плакаті 6 у додатку Б.

Таблиця 3.3 – Перелік сутностей в БД

№	Назва таблиці	Опис
1	AccessRegimes	Режими доступу
2	AbsenceCauses	Словник причин неявок
3	AbsenceSchedule	Заплановані неявки співробітників
4	AllTimetables	Графік роботи
5	CardsEntity	Картки співробітників
6	Departments	Структурні одиниці компанії
7	EmployeeGroups	Належність співробітників до груп
8	EmployeeGroups2Employee	Технічна таблиця, для відношення багато до багатьох
9	Employees	Коротка інформація про співробітника
10	EmployeesDetails	Детальна інформація про співробітника
11	EmployeesDetailsAstu	Зв'язок співробітника з режимами змін
12	Holidays	Словник свят

№	Назва таблиці	Опис
13	Normatives	Нормативи праці
14	ProfessionGroups	Групи професій
15	Professions	Словник професій
16	ShiftRegimeDetails	Детальний опис режимів змін
17	ShiftRegimes	Режими змін
18	Shifts	Зміни
19	ShiftScheduleWithTemplate	Режим зміни з шаблоном
20	Timetable	Призначені гнучкі зміни співробітників
21	TimetablesTypes	Словник типів графіків
22	TmpT13CountData	Тимчасові дані про фактично відпрацьований час
23	UserDepartmentRights	Права користувачів на роботу з відділом
24	UserGroups	Групи користувачів
25	Users	Користувачі
26	WorkTimeNormatives	Нормативи робочого часу для співробітника

Детальний опис сутностей БД наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Детальний опис таблиць БД

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
AccessRegimes	AccessRegimeID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва режиму доступу
AbsenceCauses	AbsenceCauseID	int	Первинний ключ
	AbsenceType	int	Тип неявки
	Code	varchar(5)	Скорочена назва
	Name	varchar(100)	Назва причини

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
	Coefficient	float	Коефіцієнт врахування
	ShowInReport	int	Ознака відображення у звітах
AbsenceSchedule	EmployeeID	int	Первинний ключ та зовнішній ключ на таблицю Employees
	ScheduleDate	datetime	Первинний ключ
	AbsenceCauseID	int	Зовнішній ключ на таблицю AbsenceCauses
	AbsenceComment	varchar(100)	Коментар
	ManuallyCreated	int	Ознака створення вручну
AllTimetables	TimetableID	int	Первинний ключ
	TimetablesDate	datetime	Дата першого дня місяця для графіка
	EditDate	datetime	Дата редагування
	TypeID	int	Зовнішній ключ на TimetablesTypes
	TimetablesName	nvarchar(30)	Назва графіка
	BranchID	int	Ідентифікатор структурної одиниці
CardsEntity	CardEntityID	int	Первинний ключ
	OwnerID	int	Ідентифікатор власника
	OwnerType	int	Тип власника
	StartDate	datetime	Початкова дата

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
	EndDate	datetime	Кінцева дата
Departments	DepartmentID	int	Первинний ключ
	RootID	int	Ідентифікатор батьківського елемента
	Name	varchar(100)	Назва структурної одиниці
	Code	varchar(50)	Код структурної одиниці
	Patron	int	Ідентифікатор дочірнього елемента
EmployeeGroups	EmployeeGroupID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва групи
	Code	varchar(50)	Код групи
EmployeeGroups 2Employee	EmplGroup2EmplID	int	Первинний ключ
	EmployeeGroupID	int	Зовнішній ключ на EmployeeGroups
	RecordID	int	Зовнішній ключ на EmployeesDetails
Employees	EmployeeID	int	Первинний ключ
	AccountNumber	numeric(18, 0)	Табельний номер
	Engaged	datetime	Дата найму
	Fired	datetime	Дата звільнення
	TaxNumber	numeric(18, 0)	Податковий номер
EmployeesDetails	RecordID	int	Первинний ключ

Продовження таблиці 3.4

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
	EmployeeID	int	Зовнішній ключ на Employees
	StartDate	datetime	Дата найму
	EndDate	datetime	Дата звільнення
	FirstName	varchar(50)	Ім'я
	LastName	varchar(50)	Прізвище
	MiddleName	varchar(50)	По батькові
	DepartmentID	int	Зовнішній ключ на Departments
	ProfessionID	int	Зовнішній ключ на Professions
	ManualyCreated	int	Ознака створення вручну
	AddInfo	varchar(100)	Додаткова інформація
Employees DetailsAstu	RecordID	int	Первинний ключ та зовнішній ключ на EmployeesDetails
	ShiftRegimeID	int	Зовнішній ключ на ShiftRegimes
	AccessPriority	int	Пріоритет доступу
	ExactTime	int	Точний час
	TemplateID	int	Зовнішній ключ на Timetables
	CycleStart	datetime	Початок циклу
	WorkTimeOnSched	int	Час роботи за розкладом
	Combiner	int	Комбінований

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
	LegalUnderTime	int	Понаднормовий час
Holidays	HolidayID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва святкового дня
	HolidayDate	datetime	Дата святкового дня
Normatives	ShiftRegimeID	int	Первинний ключ та зовнішній ключ на таблицю Employees
	NormYear	int	Первинний ключ, рік
	NormMonth	int	Первинний ключ, місяць
ProfessionGroups	NormHours	float	Норма годин на місяць
	ProfessionGroupID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва професії
Professions	ProfessionID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва професії
	Code	varchar(100)	Код професії
	ProfessionGroupID	int	Зовнішній ключ
ShiftRegimeDetails	ShiftRegimeID	int	Первинний ключ, Зовнішній ключ на ShiftRegimes
	ShortFriday	int	Ознака короткої п'ятниці
	ShortPreHoliday	int	Ознака наявності коротких днів перед святами
	RouteID	int	Ідентифікатор батьківського елемента

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
ShiftRegimes	ShiftRegimeID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва режиму змін
	EveningStart	datetime	Початок вечірнього часу
	EveningEnd	datetime	Кінець вечірнього часу
	EveningMin	int	Мінімум вечірніх хвилин
	EveningMax	int	Максимум вечірніх хвилин
	NightStart	datetime	Початок нічного часу
	NightEnd	datetime	Кінець нічного часу
	NightMin	int	Мінімум нічних хвилин
	NightMax	int	Максимум нічних хвилин
	Overtime	int	Допустима кількість понаднормових хвилин
	Undertime	int	Ознака неповного робочого дня
	ActiveRegime	int	Ознака діючого режиму
	MinOvertime	int	Мінімум понаднормових годин
	LegalUndertime	int	Кількість законних понаднормових
	FlexibleSchedule	int	Ознака гнучкого режиму

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
Shifts	ShiftID	int	Первинний ключ
	ShiftRegimeID	int	Зовнішній ключ на ShiftRegimes
	ShiftNumber	int	Номер зміни
	ComingStart	datetime	Мінімальний час приходу на робоче місце
	ComingEnd	datetime	Максимальний час приходу на робоче місце
	ShiftStart	datetime	Початок зміни
	ShiftEnd	datetime	Кінець зміни
	LeavingStart	datetime	Мінімальний час покидання робочого місця
	LeavingEnd	datetime	Максимальний час покидання робочого місця
	LateComing	datetime	Початок пізнього приходу
	EarlyLeaving	datetime	Кінець раннього покидання
	BreakStart	datetime	Початок перерви
	BreakEnd	datetime	Кінець перерви
	AccessRegimeID	Int	Зовнішній ключ на AccessRegimes

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
ShiftSchedule WithTemplate	RowID	int	Первинний ключ
	EmployeeID	int	Ідентифікатор співробітника
	ScheduleDate	datetime	Дата та час зміни
	ShiftID	int	Ідентифікатор зміни
	ShiftRegimeID	int	Ідентифікатор режиму зміни
Timetable	RowID	int	Первинний ключ
	TimetableID	int	Зовнішній ключ на AllTimetables
	Date	datetime	Дата зміни
	ShiftStart	datetime	Початок зміни
	ShiftEnd	datetime	Кінець зміни
	EmployeeID	int	Зовнішній ключ на Employees
TimetablesTypes	TypeID	int	Первинний ключ
	TypeName	nchar(30)	Назва типу
TmpT13CountData	RowID	int	Первинний ключ
	EmployeeID	int	Ідентифікатор співробітника
	Date	datetime	Дата
	ShiftID	int	Ідентифікатор зміни
	ShiftTime	datetime	Час початку зміни
	OverTime	datetime	Час понаднормових годин
	NightTime	int	Кількість часу відпрацьованого вночі

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
	EveningTime	int	Кількість часу відпрацьованого ввечері
	ShiftRegimeID	int	Ідентифікатор режиму змін
	RecordID	int	Ідентифікатор детальної інформації про співробітника
	BeforeMdntTime	int	Час до півночі
	AfterMdntTime	int	Час після півночі
	StartTime	datetime	Час початку
	EndTime	datetime	Час закінчення
	StartDevice	int	Ідентифікатор пристрою, що відмітив час кінця
	EndDevice	int	Ідентифікатор пристрою, що відмітив час кінця
	EmployeeID1C	varchar(36)	Ідентифікатор співробітника в бухгалтерській системі
	DepartmentID1C	varchar(36)	Ідентифікатор структурної одиниці в бухгалтерській системі
	ZoneName	varchar(100)	Назва зони

Назва таблиці	Назва стовпця	Тип даних	Опис поля
UserDepartmentRights	UserDepartmentRight ID	int	Первинний ключ
	UserID	int	Зовнішній ключ на Users
	DepartmentID	int	Зовнішній ключ на Departments
	Enabled	int	Ознака доступності
UserGroups	UserGroupID	int	Первинний ключ
	Name	varchar(100)	Назва групи користувачів
Users	UserID	int	Первинний ключ
	UserGroupID	int	Зовнішній ключ на UserGroups
	UserLogin	varchar(128)	Логін користувача
	UserPassword	varchar(512)	Пароль користувача
	Override	int	Ознака перезаписаності
	Active	int	Ознака активності
	UserShortName	varchar(100)	Коротке ім'я користувача
WorkTime Normatives	WorkTimeNormative ID	int	Первинний ключ
	RecordID	int	Зовнішній ключ на EmployeesDetails
	Date	datetime	Дата місяця
	NormDays	int	Норма днів на місяць
	NormHours	int	Норма годин на місяць

3.6 Опис взаємодії з програмним забезпеченням

Веб-застосунок призначений для планування гнучких графіків співробітників керівником філії у розрізі місяця або дня та перегляду звітності. Сторінки та форми веб-застосунка наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Компоненти користувацької частини веб-застосунка

№	Компоненти	Елементи компонентів
1	Сторінка входу в систему (рис. Б.7.1)	Поля вводу «Логін» та «Пароль», чекбокс «Запам'ятати», кнопка «Увійти»
2	Домашня сторінка (рис. Б.7.4)	Текстові поля «Логін» та «Ім'я», випадаючий список «Філія»
3	Головне меню (вгорі)	Заголовок, Пункти «Графік на місяць», «Графік на день», «Звіт за місяць», «Звіт план/факт», «Вийти»
4	Графік на місяць (рис. Б.7.5)	Панель фільтрів, кнопки «Знайти» та «Дії», в якій: «Створити», «Копіювати», «Зробити базовим», «Експортувати», «Видалити», таблиця планування графіка на місяць з полями вводу початку та кінця зміни для кожного співробітника філії на кожен день місяця
5	Форма створення нового графіка (рис. Б.7.2)	Поле вводу «Назва нового графіка», випадаючі списки «Рік» та «Місяць», кнопки «Скасувати» та «Створити»
6	Форма копіювання графіка (рис. Б.7.3)	Поле вводу «Назва копії графіка», випадаючий список «Графік», кнопки «Скасувати» та «Створити»
7	Форма підтвердження видалення або виконання дії без збереження даних	Текст-запитання, кнопки «Так», «Ні»

№	Компоненти	Елементи компонентів
8	Графік на день (рис. Б.7.6)	Панель фільтрів, на якій замість вибору місяця та року використовується календар та стрілочки вправо і вліво, кнопки «Знайти» та «Дії», таблиця планування графіка на день з полями вводу початку та кінця зміни для кожного співробітника філії на один день місяця
9	Звіт за місяць (рис. Б.7.7)	Панель фільтрів, кнопка «Експорт», таблиця-звіт
10	Звіт план/факт (рис. Б.7.8)	Панель фільтрів, чекбокс «розгорнути по датам» кнопка «Експорт», таблиця-звіт

Якщо вхід виконано успішно, відкривається домашня сторінка користувача, на якій відбувається вибір філії, для якої необхідно спланувати графік роботи або сформулювати звіт. Щоб відкрити сторінку для планування графіків роботи на місяць, натисніть на кнопку “Графік на місяць” у верхньому горизонтальному меню. Під горизонтальним меню розміщено панель фільтрів, які можна застосувати до графіка роботи. Перелік доступних фільтрів та їх опис наведено у таблиці 3.6. Подібні фільтри є на кожній з сторінок. Щоб застосувати обрані фільтри та відкрити графік роботи, потрібно натиснути на кнопку “Знайти”.

Таблиця 3.6 - Опис фільтрів

№	Назва	Опис
1	Рік	Випадаючий список, в якому міститься 6 років: поточний, наступний та чотири попередні роки
2	Місяць	Випадаючий список місяців

№	Назва	Опис
3	Графік	Список графіків, для обраного року та місяця. Якщо на обраний рік та місяць ще не створено жодного графіка, то у даному полі написано “Відсутні”. Першим відображається базовий графік, він має помітку на початку рядка “Базовий: ”. Далі відображаються графіки відсортовані за датою створення. У дужках, після назви кожного графіка відображається дата та час останнього редагування графіка
4	Підрозділ	Випадаючий список підрозділів філії користувача, є можливість обрати “Усі підрозділи”
5	Група	Випадаючий список груп філії користувача, є можливість обрати “Усі групи” та “Без групи”
6	Співробітник	Випадаючий список співробітників філії користувача, відсортований за табельними номерами співробітників.

Після натискання на кнопку “Знайти” відкриється форма планування графіка роботи на місяць. Базові графіки відображаються лише у режимі перегляду, не базові - доступні для редагування. Форма планування графіка роботи на місяць є таблицею, в якій наведені:

- згруповані за групою та вкладені у підрозділи співробітники;
- посада;
- щоденний графік виходів;
- підсумовані значення запланованих годин на місяць для кожного співробітника;
- підсумовані значення понаднормових годин для кожного співробітника;
- щоденні підсумовані значення для кожної групи, підрозділу та за філією на кожен день;
- зведені суми вищезазначених годин.

При підрахунку годин віднімається 1 година обідньої перерви для змін, що тривають довше ніж 4 години. Субота та неділя позначені голубим кольором, святкові дні позначені червоним кольором у шапці таблиці.

У формі відображаються співробітники як з гнучким, так і з фіксованим графіком роботи. Для співробітників з фіксованим графіком роботи призначення змін є неможливим. Вихідні дні та планові неявки лише відображаються в даній системі, а плануються поза її рамками. Форма не дозволяє планувати зміни, що тривають більше ніж 12 годин на день. Якщо буде введено зміну, що триває більше ніж 12 годин, система виведе повідомлення про це. Збереження буде неможливе, доки не буде виправлено тривалість зміни. Форма дозволяє планувати та зберігати зміни, що перевищують інші норми, наприклад норму годин на день. Система лише підсвітить таку зміну жовтим кольором та виведе відповідну підказку. Якщо введена зміна задовольняє всім нормам, вона буде підсвічується зеленим кольором. Після внесення всіх необхідних робочих змін у графік роботи натисніть на кнопку “Зберегти”.

Створення нового графіка та копіювання відбувається у відповідних призначених для цього формах. Копіювання графіка роботи можливе лише у рамках місяця. Є можливість захистити графік від змін перетворивши його на базовий. Базові графіки не можна редагувати, а ще такі графіки беруться за основу для формування звітів. Графік може бути експортовано до таблиці MS Excel (у форматі .xlsx). Якщо наявні незбережені зміни, а користувач намагається покинути сторінку, то перед тим як продовжити буде виведено відповідне попередження. Не базові графіки можуть бути видалені з системи назавжди.

Планування графіків роботи можна переглядати в рамках дня на сторінці «Графік на день». Набір фільтрів та дій аналогічний тому, що був наведений вище. Окрім того, що замість фільтрів “Рік” та “Місяць”, на даних сторінках календар, в якому відмічені свята та вихідні дні. У таблиці наведено 30-ти хвилинні інтервали часу в обраний день.

Звіт за графіком на місяць та звіт план/факт також можуть бути експортовані в до таблиці MS Excel. На сторінці звіту план/факт є додатковий фільтр «Розгорнути по датам», який є активним лише коли обрано співробітника.

3.7 Тестування програмного забезпечення

Тестування ПЗ є невід’ємною частиною циклу розробки. Одним із способів тестування та перевірки відповідності ПЗ функціональним вимогам є виконання тестових сценаріїв. Результати тестування ІС для планування гнучких графіків роботи співробітників наведені у таблицях 3.7-3.15.

Таблиця 3.7 – Тестовий сценарій входу в ІС

Назва	<i>Тест «Вхід в ІС»</i>	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС http://localhost:4200/	Відкрита сторінка входу в ІС	Пройдений
Кроки тесту		
Ввести логін «test» та пароль «test», натиснути на чекбокс «Запам’ятати»	Дані введено	Пройдений
Натиснути на кнопку «Увійти»	Відкрита головна сторінка ІС	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.8 – Тестовий сценарій вибору філії

Назва	<i>Тест «Вибір філії»</i>	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, в якого є доступ до кількох філій	Пройдений
Кроки тесту		
Обрати у випадяючому списку іншу філію та перейти на сторінку «Графік на місяць»	Відкрито сторінку «Графік на місяць» та завантажено дані з обраної філії	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.9 – Тестовий сценарій створення графіка

Назва	<i>Тест «Створення графіка»</i>	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача	Пройдений
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Натиснути на кнопку «Дії» та обрати «Створити»	Відкрита форма створення нового графіка з наперед обраним наступним місяцем	Пройдений

Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Ввести назву нового графіка та натиснути на кнопку «Створити»	Виведено сповіщення про створення нового графіка та завантажено для перегляду і редагування новий графік	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.10 – Тестовий сценарій відкриття графіка на день

Назва	Тест «Відкриття графіка на день»	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого є графіки	Пройдений
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду і редагування обраний графік	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.11 – Тестовий сценарій копіювання графіка

Назва	Тест «Копіювання графіка»		
Дія		Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова			
Відкрити ІС та виконати вхід		Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є графіки	Пройдений
Кроки тесту			
Перейти на сторінку «Графік на день»		Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Натиснути на кнопку «Дії» та обрати «Копіювати»		Відкрита форма копіювання графіка в рамках поточного місяця	Пройдений
Ввести назву копії графіка та натиснути на кнопку «Копіювати»		Виведено сповіщення про створення копії та завантажено для перегляду і редагування новий скопійований графік	Пройдений
Післяумова			
Натиснути на кнопку «Вийти»		Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.12 – Тестовий сценарій перетворення графіка на базовий

Назва	Тест «Перетворення графіка на базовий»		
Дія		Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова			
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є небазові графіки		Пройдений

Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Обрати небазовий графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду і редагування обраний графік	Пройдений
Натиснути на кнопку «Дії» та обрати «Зробити базовим»	Виведено сповіщення про призначення графіка базовим та завантажено для перегляду без можливості редагування	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.13 – Тестовий сценарій експортування графіка на день до Excel

Назва	Тест «Експорт графіка на день до Excel»	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є заповнені графіки	Пройдений
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду обраний графік	Пройдений

Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Натиснути на кнопку «Дії» та обрати «Експортувати»	Виведено сповіщення про успішний експорт до Excel файлу та завантажено файл	Пройдений
Відкрити та перевірити файл	Файл відкривається та відповідає даним, які відображала система	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.14 – Тестовий сценарій видалення графіка на день

Назва	Тест «Видалення графіка»	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є графіки	Пройдений
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду обраний графік	Пройдений
Натиснути на кнопку «Дії» та обрати «Видалити»	Виведено сповіщення про видалення графіка та завантажено інший графік для перегляду	Пройдений

Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.15 – Тестовий сценарій внесення змін до графіка на день

Назва	Тест «Внесення змін до графіка на день»	
Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова		
Відкрити ІС та виконати вхід	Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є графіки	Пройдений
Кроки тесту		
Перейти на сторінку «Графік на день»	Відкрита сторінка «Графік на день»	Пройдений
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду обраний графік	Пройдений
Заповнити першому співробітнику зміну з 8:00 до 22:00	Виведено сповіщення про перевищення норми на день та неможливо зберегти графік	Пройдений
Змінити кінець зміни на 17:00	Кнопка «Зберегти» знову активна	Пройдений
Натиснути на кнопку «Зберегти»	Виведено сповіщення про збереження графіка та оновлено графік для перегляду	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.16 – Тестовий сценарій перегляду звіту за місяць

Назва	Тест «Перегляд звіту за місяць»		
Дія		Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова			
Відкрити ІС та виконати вхід		Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є графіки	Пройдений
Кроки тесту			
Перейти на сторінку «Звіт на місяць»		Відкрита сторінка «Звіт на місяць»	Пройдений
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»		Завантажено для перегляду звіт за обраним графіком на місяць	Пройдений
Післяумова			
Натиснути на кнопку «Вийти»		Відкрита сторінка входу	Пройдений

Таблиця 3.17 – Тестовий сценарій перегляду звіту план/факт

Назва	Тест «Перегляд звіту за місяць»		
Дія		Очікуваний результат	Результат тесту
Передумова			
Відкрити ІС та виконати вхід		Відкрита головна сторінка ІС для авторизованого користувача, на філії якого вже є графіки та співробітники з відпрацьованим часом	Пройдений
Кроки тесту			
Перейти на сторінку «Звіт план/факт»		Відкрита сторінка «Звіт план/факт»	Пройдений

Дія	Очікуваний результат	Результат тесту
Обрати графік та натиснути на кнопку «Знайти»	Завантажено для перегляду звіт за обраним графіком на місяць	Пройдений
Післяумова		
Натиснути на кнопку «Вийти»	Відкрита сторінка входу	Пройдений

Висновки до розділу

У розділі наведено функціональні вимоги до ІС для побудови гнучких розкладів та вимоги до технічного забезпечення. Наведено схему обраного архітектурного рішення, перелік таблиць БД та їх детальний опис. Описано взаємодію користувача з системою та наведено результати тестування.

Було розроблено ІС для побудови гнучких графіків роботи, яку впроваджено на виробництві (див. додаток А). ІС використовується керівниками підрозділів для планування змін співробітників та підготовки звітів.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Опис ідеї проєкту

На сучасних промислових підприємствах та в організаціях сфери обслуговування є необхідними системи для змінно-добового планування гнучких графіків роботи співробітників. Напевно, чи не кожна успішна компанія прагне до того, щоб задовольнити запити своїх клієнтів та витратити менше коштів на заробітну платню, яка пропорційна кількості співробітників. Наявні системи планування переважно є занадто складними в індивідуальних налаштуваннях, які є потрібними організаціям. Саме тому серед таких компаній може мати попит система планування з інтуїтивно-зрозумілим інтерфейсом та багатоваріантним налаштуванням параметрів. Також корисним може бути налаштування інтеграції системи планування з іншими системами, за допомогою яких відбувається управління компанією.

Оскільки кожна компанія, співробітники якої працюють за гнучким графіком роботи, має свої особливості, можливими є розширення розробленої системи за рахунок додаткових модулів, які адаптуватимуть її під потреби конкретної організації. Доступним є також формування стандартного набору звітів (план на місяць та план на день), а також розробка додаткових звітів, залежно від потреб компанії. Наприклад, якщо на підприємстві є пропускна система, яка фіксує час прибуття та завершення роботи співробітників, то є можливою інтеграція з цією системою та розробка порівняльного звіту планового графіку роботи та фактично відпрацьованого часу кожним зі співробітників.

Зміст ідеї стартап-проєкту полягає в розробці базової системи планування, яка була б легко адаптованою під потреби окремо взятих компаній. Напрямки застосування ідеї та переваги для користувача наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Напрямки застосування та переваги ідеї стартап-проєкту

Напрямки застосування	Переваги для користувача
1. Алгоритм формування графіку виходів співробітників відповідно до заданих параметрів	Графік виходів формується автоматично, відповідно управляючий витрачає менше часу на його формування, графік задовольняє реальним потребам, а кількість задіяних співробітників є мінімальною
2. Веб-інтерфейс для планування гнучких графіків	Управляючий може формувати та коригувати графік будь-коли та буде-де, навіть коли він не є на робочому місці, а також коли сталися непередбачені ситуації і потрібно перепланувати день або місяць
3. Можливість коригування графіків у розрізі на день та місяць	Зручність планування на місяць поєднується з можливістю переглянути графік більш детально на кожен день та візуально оцінити кількість співробітників у кожен інтервал часу
4. Формування стандартних звітів	Звіти є необхідними для документообігу організації та погодження графіка роботи з її співробітниками.
5. Формування додаткових звітів	Додаткові звіти можуть бути використані для більш детального аналізу та контролю виконання графіків, залежно від потреб організації
6. Підтримка системи та розробка додаткових модулів	Підтримка системи є важливою складовою та передбачає можливість адаптації системи під потреби конкретної компанії та розробки додаткових модулів

Аналіз техніко-економічних відмінностей та переваг ідеї над потенційними конкурентами наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення характеристик проєкту

№	Техніко-економічна характеристика ідеї	Аналогічні рішення				Характеристика є		
		Мій проєкт	Excel Solver	MS Project	Geo Con	Слабка	Нейтральна	Сильна
1	Вартість використання	100\$ одноразово	Ліцензія Microsoft	Ліцензія Microsoft	500\$ одноразово			+
2	Складність налаштування	Низька	Середня	Висока	Низька		+	
3	Задоволення потреб клієнта у плануванні	Так	Ні	Частково	Так		+	
4	Зручність інтерфейсу	Висока	Низька	Середня	Середня			+
5	Витрати на розробку	Середні	Великі	Дуже великі	Дуже великі		+	

Отже, визначені в таблиці 4.2 характеристики свідчать про конкурентоспроможність ідеї стартап-проєкту на ринку.

4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний аудит ідеї проєкту наведено у таблиці 4.3. Для реалізації ідеї проєкту обрано технології TypeScript, Angular, Node.js, C#, ASP.NET Core як кращі серед наявних на ринку та як ті, з якими вже знайома команда розробників. Для розробки БД буде використано MS SQL, хоча за бажанням клієнта БД може бути

змінена на будь-яку іншу SQL БД без внесення змін у програмний код. Також будуть використовуватися евристичні методи для розробки алгоритмів календарного планування.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№	Ідея	Технології для реалізації	Наявність	Доступність
1	Розробка веб-інтерфейсу користувача	TypeScript	Наявна	Доступна
		JavaScript	Наявна	Доступна
		Angular	Наявна	Доступна
		React	Наявна	Потрібне додаткове вивчення
		Node.js	Наявна	Доступна
2	Розробка серверної частини	C#, ASP.NET Core	Наявна	Доступна
		PHP	Наявна	Потрібне додаткове вивчення
		Python, Django MVC	Наявна	Потрібне додаткове вивчення
		Java, Spring MVC	Наявна	Потрібне додаткове вивчення
3	Розробка бази даних	MS SQL	Наявна	Доступна
		PostgreSQL	Наявна	Доступна
		MS SQL Server Express	Наявна	Доступна
4	Розробка алгоритмів календарного планування	Евристичні методи	Наявна	Доступна

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Цільова аудиторія – компанії, яким необхідно планувати роботу співробітників з гнучкими графіками роботи.

Висновки до розділу

У даному розділі описано ідею стартап проєкту її напрямки застосування, особливості та переваги. Проведено аналіз конкурентоспроможності ідеї стартап-проєкту, в результаті якого виділено його сильні сторони. Обрано технології реалізації на основі технологічного аудиту та окреслено цільову аудиторію.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто процеси календарного планування на підприємствах, способи представлення календарних планів та методи їх побудови. В результаті проведеного аналізу предметного середовища сформульована постановка задачі визначення кількості співробітників у кожному з інтервалів за умови, що тривалість зміни є сталою величиною з обідньою перервою, що запланована в заданому проміжку посеред зміни, а штат співробітників обмежений та досягає мінімуму сумарне відхилення кількості співробітників від потреби в них за задані проміжки часу впродовж доби. Проведено огляд класифікації існуючих методів для розв'язання задач календарного планування. Для розв'язання поставлених задач було обрано точні та евристичні методи.

Детально розглянуто задачу з «незафіксованими» обідами, для якої запропоновано два підходи, щодо визначення кількості співробітників, що виходять на зміну на початку кожного з інтервалів. Обидва підходи передбачають послідовне розв'язання двох оптимізаційних задач. В задачі I.3.1 необхідно визначити кількість співробітників за умови, що обідня перерва відсутня. В задачі II.3.1 необхідно визначити кількість співробітників за умови, що під обідню перерву виділено кілька інтервалів. В задачі I.3.2 та II.3.2 в знайдених розв'язках задач I.3.1 та II.3.1 відповідно необхідно розставити обіди таким чином, щоб досягти мінімального сумарного відхилення реальної кількості співробітників від потреб. Були побудовані математичні моделі цих задач та проведено процес позбавлення від модуля, в результаті якого нелінійні моделі звелися до ЗЦЛП та ЗБП. Обґрунтовано необхідність розробки евристичного алгоритму для вирішення ЗБП. Розроблено ефективні евристичні алгоритми розв'язання ЗБП.

Для програмної реалізації розроблених алгоритмів та системи для їх експериментального дослідження було використано мову програмування Python та бібліотеки OR-Tools та Matplotlib. Було проведено серію експериментів, яка показала, що алгоритм є ефективним з точки зору близькості результатів до результатів, отриманих точними методами. У планах подальших досліджень є розгляд

можливостей покращення алгоритмів розв'язку розглянутих задач та дослідження пов'язаних з ними задач.

На мовах програмування C# та TypeScript розроблено ІС змінно-добового планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи, в якій реалізовано розроблені алгоритми. Також було використано фреймворки Angular та ASP.NET Core. Для написання програмного коду використано середовище розробки Visual Studio Code.

Отже, можна зробити висновок, що всі поставлені завдання були виконані.

За матеріалами дисертації було написано дві наукові роботи: підготована стаття у фаховому виданні [1] та опубліковані тези доповіді на науковій конференції [2].

Результати дисертаційних досліджень, а саме розроблені моделі, підходи та ІС впроваджені на підприємстві та використовуються при розробці ПЗ для побудови гнучких графіків роботи співробітників (Додаток А).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гаврилюк О. І., Жданова О. Г., Сперкач М. О. Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 2020. №1. 10 С.
2. Гаврилюк О. І., Жданова О. Г., Сперкач М. О. Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи. *Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ICTU-2019)*. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. С. 23-29
3. Pinedo M. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York: Springer Science+Business Media, 2009. 536 с.
4. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України "Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу" від 04.10.2006 р. № 359.
5. Shagvaliyeva S., Yazdanifard R. Impact of Flexible Working Hours on Work-Life Balance. *American Journal of Industrial and Business Management*, 2014. № 4. С. 20-23.
6. Aayushi G., Anju B.; Lipishree V., Shivani P., Shravankumar D. Shift Scheduling Optimization for PSU Library. *Engineering and Technology Management Student Projects*, 2018. № 2105. 16 с.
7. Taha H. *Operations Research: An Introduction*. New Jersey: Pearson Education, 2007. 813 с.
8. Гуляницький Л. Ф., Мулеса О. Ю. *Прикладні методи комбінаторної оптимізації*: навчальний посібник. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2016. 133 с.
9. Сергиенко И. В. *Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации*. Киев: Наукова думка, 1985. 380 с.
10. Португал В. М., Семенов А. И. *Теория расписаний*. Москва: Знание, 1972. 61 с.

- 11.Oluwaseun M. A., Akeem O. A. Solving nurse problem using constraint programming technique. *Computing Research Repository, Ogbomoso*. Nigeria, 2019. 9 с.
- 12.Ozlem K., Haci M. A., Tamer E. Shift Scheduling with the Goal Programming Method: A Case Study in the Glass Industry. *Mathematics, MDPI*. 2019. 22 с.
- 13.Toth P., Fischetti M., Vigo D. Modeling and Solving the Crew Rostering Problem. *Operations Research*. № 46 (6). С. 820-830.
- 14.Alfares H. Operator staffing and scheduling for an IT-help call centre. *European Journal of Industrial Engineering*. 2007. № 1 (4). С. 414-430.
- 15.Senra P., Lopes I., Oliveira J. Supporting Maintenance Scheduling: A Case Study. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Modena, Italy. 2017. № 11. С. 2123-2130.
- 16.Garaix T., Gondran M., Lacomme P., Mura E., Tchernev N. Workforce Scheduling Linear Programming Formulation. *IFAC-PapersOnLine*, 2018. Вип. 11, № 51. С. 264-269
- 17.Bülbül K., Kaminsky Ph. A Linear Programming-Based Method for Job Shop Scheduling. *Journal of Scheduling*, 2013. № 16 (2). С. 161-183
- 18.Bürge R., Bülbül, K. The Job Shop Scheduling Problem with Convex Costs. *European Journal of Operational Research*, 2018. № 268 (1). С. 82-100.
- 19.Hug F., Khurram M., Bhutta S., Huq Z. A Heuristic Search Routine for Solving Two Objective Mixed Integer LP Problems for Scheduling in a Service Factory. *International Journal of Operational Research*, 2019. № 36 (1). С. 40-61.
- 20.Wali K., Othman S., Comparison and Assessment of Using Primavera and Microsoft Project in Construction Projects in Erbil City. *Journal of Pure and Applied Sciences*, 2019. №31 (3). С. 285-291.
- 21.Deshmukh S., Sagale A., Bais M. Study of Scheduling In Microsoft Project Software. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 2019. № 5, Вид. 2. С. 419-428.
- 22.Harned D. *Hands-On Agile Software Development with JIRA*. Packt Publishing, Birmingham. 2018. 143 с.

23. Кодекс законів про працю України
24. Kruk S. Practical Python AI Projects: Mathematical Models of Optimization Problems with Google OR-Tools. *Apress*. Roshester, Micigan, USA, 2018. 279 с.
25. Tosi S. *Matplotlib for Python Developers*. Packt Publishing, Birmingham, UK, 2009. 308 с.
26. Wiegers K., Beatty J. *Software Requirements*. Microsoft Press, Redmond, Washington, 2013. 637 с.
27. Kumar. S. A Review on Client-Server Based Applications And Research Opportunity. *International Journal of Recent Scientific Research*. USA, 2019. № 10, Вид. 07(Н). С. 33857-33862
28. Chambers J., Paquette D., Timms S. *ASP.NET Core Application Development: Building an application in four sprints*. Microsoft Press, 2016. 432 с.
29. Fain Y. Moiseev A. *Angular 2 Development with TypeScript*. Manning Publications, 2017. 560 с.
30. Hussain A. *Angular From Theory To Practice*. Codecraft, 2017. 674 с.
31. Freeman A. *Pro Angular 6*. Apres, London, UK, 2018. Вид. 3. 776 с.
32. Kahlert T., Giza K. *Visual Studio Code Tips & Tricks № 1*. Microsoft, Germany, 2016. 26 с.

ДОДАТОК А Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи



ТОВ «АМ ІНТЕГРАТОР ГРУП»
04070, м. Київ, вул. Іллінська, б. 14/6
тел.: +38 (044) 394-86-07, 394-86-09
mail@amintegrator.com, <http://amintegrator.com>

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор виконавчий
ТОВ «АМ Інтегратор Груп»
Баштовий В.В.
«12» грудня 2019 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
магістрантки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» Гаврилюк Олени Іванівни
у науково-технічних розробках ТОВ «АМ Інтегратор Груп»

Цим актом підтверджується впровадження результатів дисертаційних досліджень магістрантки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» Гаврилюк Олени Іванівни у науково-технічних розробках ТОВ «АМ Інтегратор Груп», в яких використовуються розроблені моделі, методи та підходи до календарного планування при розробці програмного забезпечення для побудови гнучких графіків роботи співробітників.

Цей документ не є підставою для фінансових розрахунків.

Директор виконавчий



Баштовий В.В.

ДОДАТОК Б Графічний матеріал

ПЛАКАТ 1 Схеми інформаційних потоків у системах виробництва та надання послуг



Рисунок Б.1.1 - Схема інформаційних потоків у системі виробництва



Рисунок Б.1.2 - Схема інформаційних потоків у системі надання послуг

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації
на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

Виконала студентка гр. ІС-81мп
Керівник

Гаврилюк О.І.
Жданова О.Г

ПЛАКАТ 2 Класифікація оптимізаційних моделей та алгоритмів

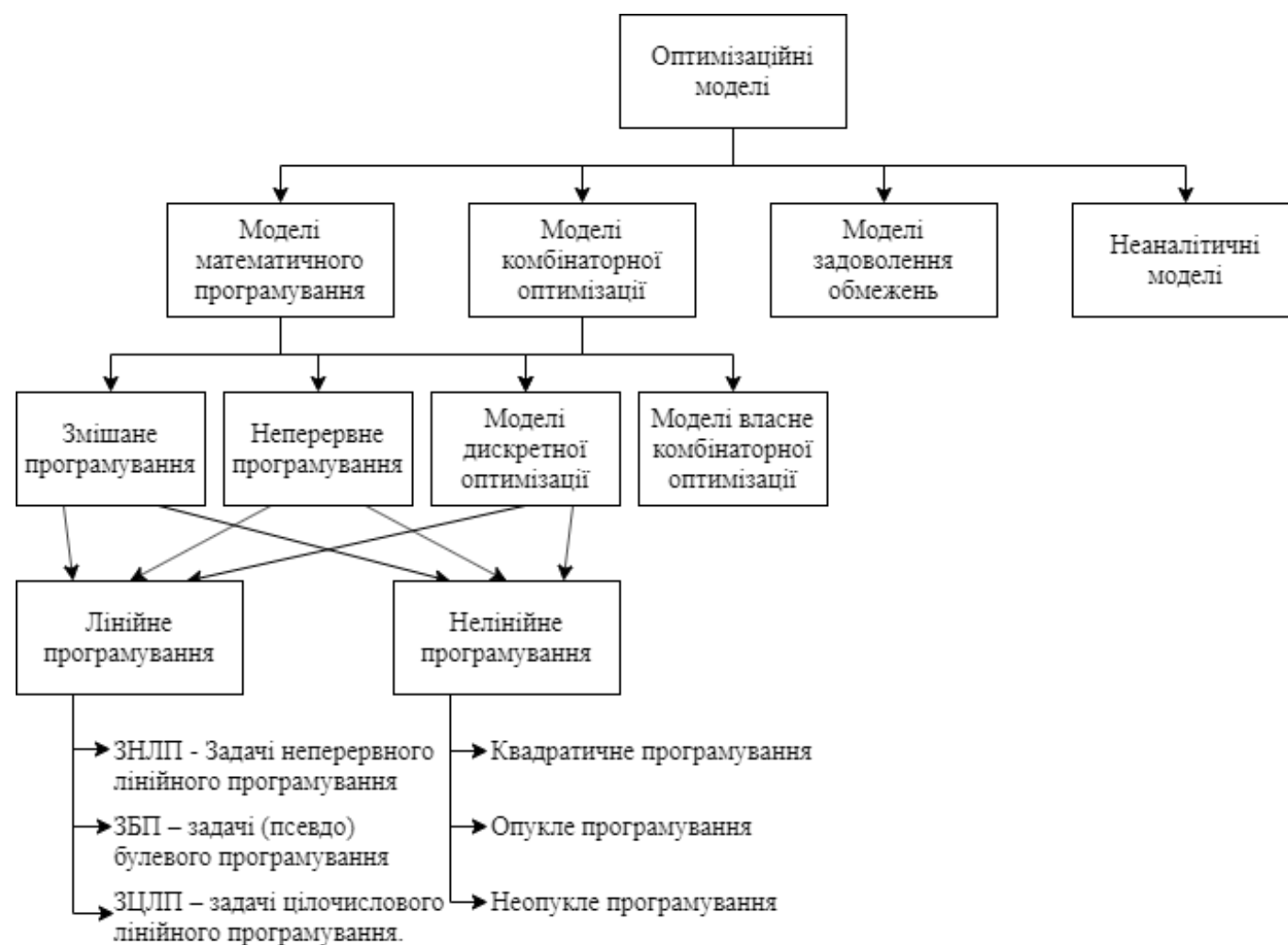


Рисунок Б.2.1 – Класифікація оптимізаційних моделей



Рисунок Б.2.2 – Класифікація алгоритмів оптимізації за точністю

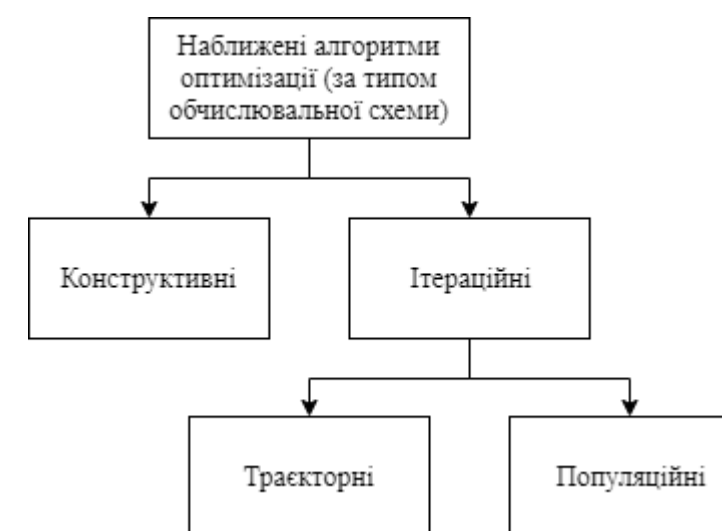


Рисунок Б.2.3 – Класифікація алгоритмів оптимізації за типом обчислювальної схеми

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації
на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

Виконала студентка гр. ІС-81мп

Гаврилюк О.І.

Керівник

Жданова О.Г

ПЛАКАТ 3 Математична модель та лінеаризація задачі 3

Дано:

- g Кількість інтервалів часу
 t Тривалість зміни в інтервалах
 k Порядковий номер інтервалу
 a_k Потреба у співробітниках в k -й інтервал, $k \in \{0, 1, \dots, g-1\}$
 e_k Зсув відносно початку відліку порядкового номера інтервалу, з якого починається підрахунок змін для k -го інтервалу часу, $k \in \{0, 1, \dots, g-1\}, e_k = k + 1 - t$
 S Кількість співробітників
 \underline{c} Мінімальний номер інтервалу, з якого може початися обідня перерва
 \bar{c} Максимальний номер інтервалу, в який може закінчитися обідня перерва
 c Тривалість обіду в інтервалах
 j Порядковий номер співробітника, $j \in \{0, 1, \dots, S-1\}$
 s_j Номер інтервалу, в який j -ий співробітник виходить на робочу зміну, $j \in \{0, 1, \dots, S-1\}$
 u_k Додаткова змінна для в k -го інтервалу, $k \in \{0, 1, \dots, g-1\}$

Позначення:

$$A_k = \begin{cases} \sum_{i=e_k}^k x_i, & \text{для } e_k \geq 0 \\ 0, & \text{для } e_k < 0 \end{cases}, \quad C_k = \begin{cases} \sum_{i=0}^k x_i, & \text{для } e_k < 0 \\ 0, & \text{для } e_k \geq 0 \end{cases}, \quad E_k = \begin{cases} \sum_{i=g+e_k+\underline{c}}^{g+e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k \leq g-1+\bar{c} \\ \sum_{i=g+e_k+\underline{c}}^{g-1} x_i, & \text{для } e_k > g-1+\bar{c} \end{cases} \\
 B_k = \begin{cases} \sum_{i=g+e_k}^{g-1} x_i, & \text{для } e_k < 0 \\ 0, & \text{для } e_k \geq 0 \end{cases}, \quad D_k = \begin{cases} \sum_{i=e_k+\underline{c}}^{e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k \geq -\underline{c} \\ \sum_{i=0}^{e_k+\bar{c}} x_i, & \text{для } e_k < -\underline{c} \end{cases}, \quad F_j = \begin{cases} \sum_{i=s_j+\underline{c}}^{g-1} y_{ji} + \sum_{i=0}^{\bar{c}} y_{ji}, & \text{якщо } \underline{c} - s_j < g < \bar{c} + s_j \\ \sum_{i=s_j+\underline{c}}^{s_j+\bar{c}} y_{ji}, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Задача I.3.1

Дано g, t, S, a_k, e_k . Нехай x_i - кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$.

ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} |A_k + B_k + C_k - a_k|.$$

Обмеження:

$$\sum_{i=0}^{g-1} x_i \leq S,$$

$$x_i \geq 0, \text{ цілі, } i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Задача I.3.1 (лінеаризована)

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

$$\sum_{i=0}^{g-1} x_i \leq S,$$

$$A_k + B_k + C_k - u_k \leq a_k,$$

$$A_k + B_k + C_k + u_k \geq a_k,$$

$$x_i \geq 0, \text{ цілі, } i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Задача II.3.1

Дано $g, t, S, a_k, e_k, \underline{c}, \bar{c}, c$. Нехай x_i - кількість співробітників, що виходять на зміну в i -й інтервал часу, $i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$.

ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} |A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - a_k|.$$

Обмеження:

$$\sum_{i=0}^{g-1} x_i \leq S,$$

$$x_i \geq 0, \text{ цілі, } i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Задача II.3.1 (лінеаризована)

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

$$\sum_{i=0}^{g-1} x_i \leq S,$$

$$A_k + B_k + C_k - D_k - E_k - u_k \leq a_k,$$

$$A_k + B_k + C_k - D_k - E_k + u_k \geq a_k,$$

$$x_i \geq 0, \text{ цілі, } i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Задачі II.3.1 та II.3.2

Дано $g, S, a_k, \underline{c}, \bar{c}, c, x_i, s_j$, x_i - розв'язок задачі 3.1, а s_j обчислено на основі x_i . Нехай y_{ji} - маркер присутності j -го співробітника в i -й інтервал часу на робочому місці: 0 - відсутній, 1 - присутній, $j \in \{0, 1, \dots, S-1\}, i \in \{0, 1, \dots, g-1\}$.

ЦФ:

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} \left| \sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - a_k \right|.$$

Обмеження:

$$F_j = c, j \in \{0, 1, \dots, S-1\},$$

$$y_{ji} \in \{0, 1\}, i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Задачі II.3.1 та II.3.2

(лінеаризовані)

$$\min z = \sum_{k=0}^{g-1} u_k.$$

$$F_j = c, j \in \{0, 1, \dots, S-1\},$$

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} - u_k \leq a_k,$$

$$\sum_{j=0}^{S-1} y_{jk} + u_k \geq a_k,$$

$$y_{ji} \in \{0, 1\}, i \in \{0, 1, \dots, g-1\}.$$

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

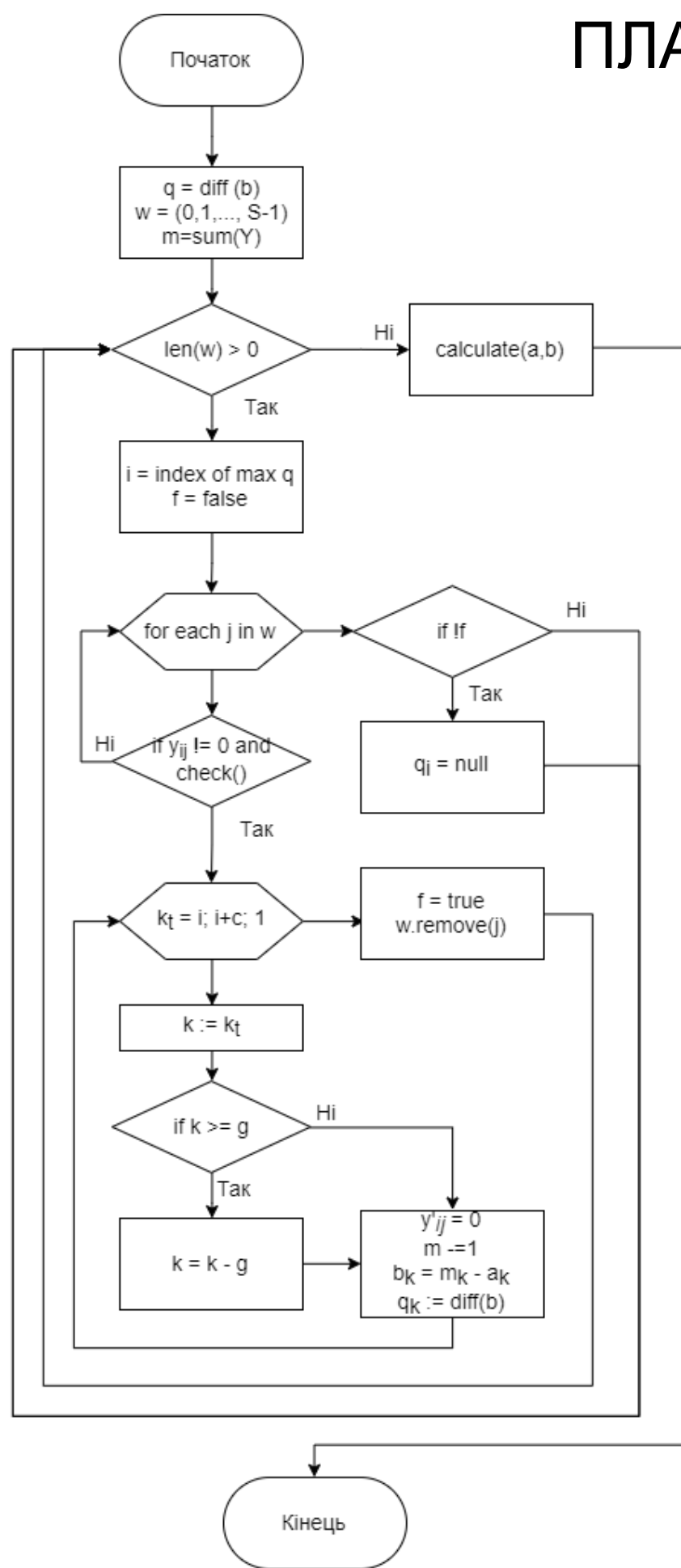
Виконала студентка гр. ІС-81мп

Гаврилюк О.І.

Керівник

Жданова О.Г

ПЛАКАТ 4 Схеми евристичного алгоритму підходу I



Блок-схема евристичного алгоритму підходу I

Деталізований алгоритм евристичного вирішення задачі I.3.2

```
1 Вхід: g, S, c, c̄, c̄,
2 s = (s₀, s₁, ..., s_{S-1})
3 a = (a₀, a₁, ..., a_{g-1})
4 b = (b₀, b₁, ..., b_{g-1})
5 Y = [y_{ij}]_{S × g}
6 Вихід: Y' = [y'_{ij}]_{S × g}
7 q := diff(b)
8 w := (0, 1, ..., S - 1)
9 m = sum(Y)
10 while(length of w ≠ 0):
11     i := index of max q
12     f = false
13     for each j in w:
14         if y_{ji} ≠ 0 and check(s_j, c̄, c̄, i, c, g):
15             for k_t from i to i + c:
16                 k = k_t
17                 if k_t ≥ g: k = k_t - g
18                 y'_{jk} = 0
19                 m_k -= 1
20                 b_k = m_k - a_k
21                 q_k := diff(b)
22             f = true
23             w.remove(j)
24             break
25     if not f: q_i = null
26 calculate(a, b)
```

Узагальнена схема підходу I вирішення задачі 3

Етап 1. Побудувати розв’язок задачі I.3.1 точним методом.

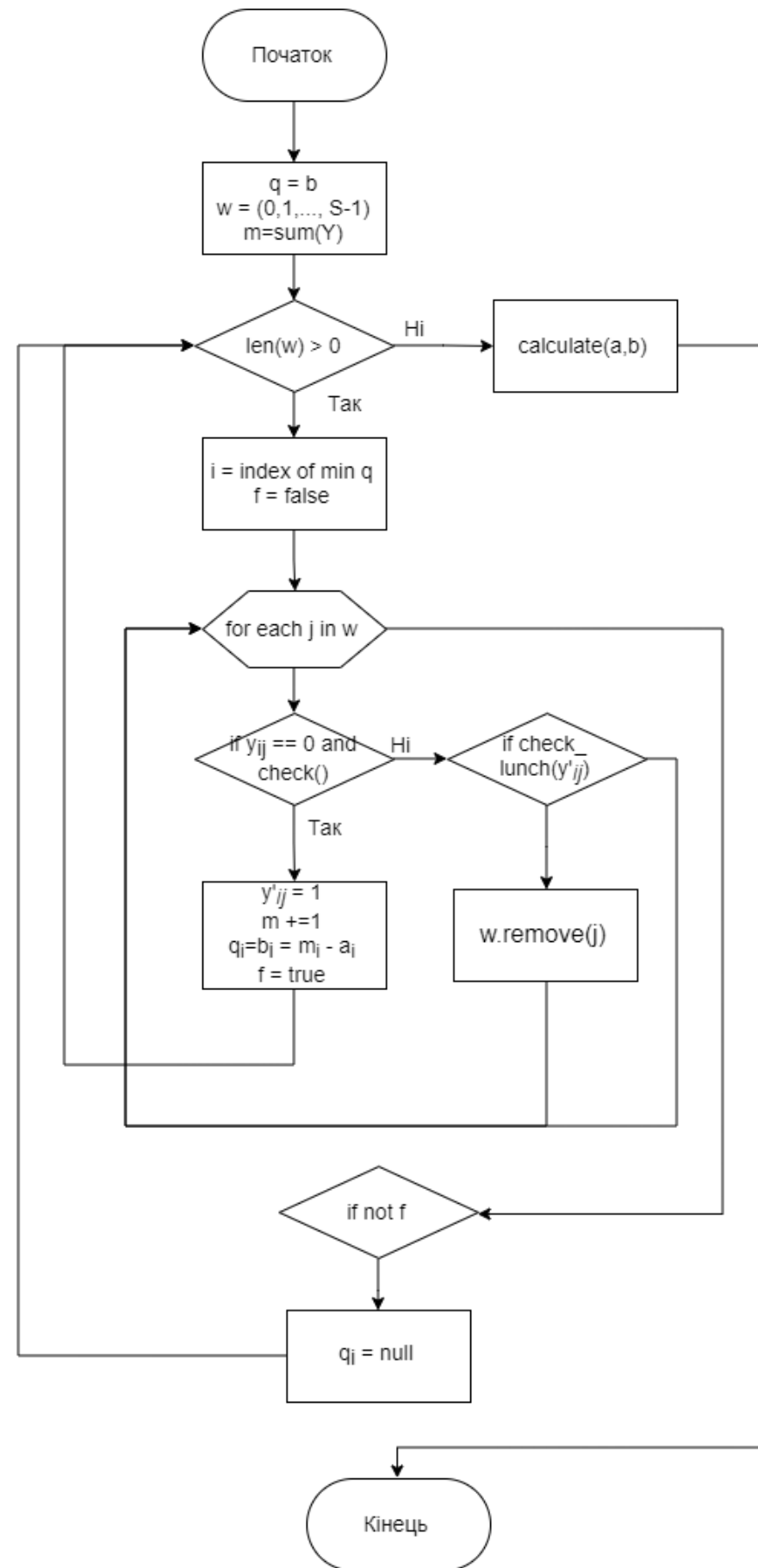
Етап 2. Доки є «непройдені» співробітники, знайти максимальну суму непройденої комбінації з «сусідніх» відхилень та знайти співробітника, якому ще не призначено перерву та якому може бути його призначено для знайдених інтервалів. Якщо знайдено співробітника, обнулити відповідні та позначити його «пройденим», а якщо не знайдено, то позначити «пройденою» знайдену комбінацію відхилень.

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації
на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

Виконала студентка гр. ІС-81мп
Керівник

Гаврилюк О.І.
Жданова О.Г

ПЛАКАТ 5 Схема евристичного алгоритму підходу II



Блок-схема евристичного алгоритму підходу II

Деталізований алгоритм евристичного вирішення задачі II.3.2

```

1  Вхід: S, c, c̄, c̄
2      s = (s0, s1, ..., sS-1)
          y0 0 ... y0 g-1
3      Y =  ⋮      ⋮
          yS-1 0 ... yS-1 g-1
4      a = (a0, a1, ..., ag-1)
5      b = (b0, b1, ..., bg-1)
          y0 0 ... y0 g-1
6  Вихід: Y' =  ⋮      ⋮
          yS-1 0 ... yS-1 g-1
7  q = b
8  w = (0, 1, ..., S-1)
9  m = sum(Y)
10 while(length of w ≠ 0):
11     i := index of min q
12     f = false
13     for each j in w:
14         if y'_{ji} == 0 and check(y'_j, s_j, c, c̄, c̄, i, g)
15             y'_{ji} = 1
16             mi += 1
17             qi = bi = ei - ai
18             f = true
19             break
20     else:
21         if check_lunch(y'_{ji}):
22             w.remove(j)
23     if not f: qi = null
24 calculate(a, b)
    
```

Узагальнена схема підходу II вирішення задачі 3

Етап 1. Побудувати розв'язок задачі II.3.1 точним методом.

Етап 2. Для інтервалів, у яких відхилення від потреби є від'ємне, доставити 1 у , обираючи щоразу найбільше відхилення, за умови, що у кожного співробітника залишаться нульовим стільки інтервалів, скільки потрібно для обіду та які будуть йти послідовно один за одним.

Етап 3. Для кожного співробітника проставити 1 в для інтервалів, що залишилися.

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

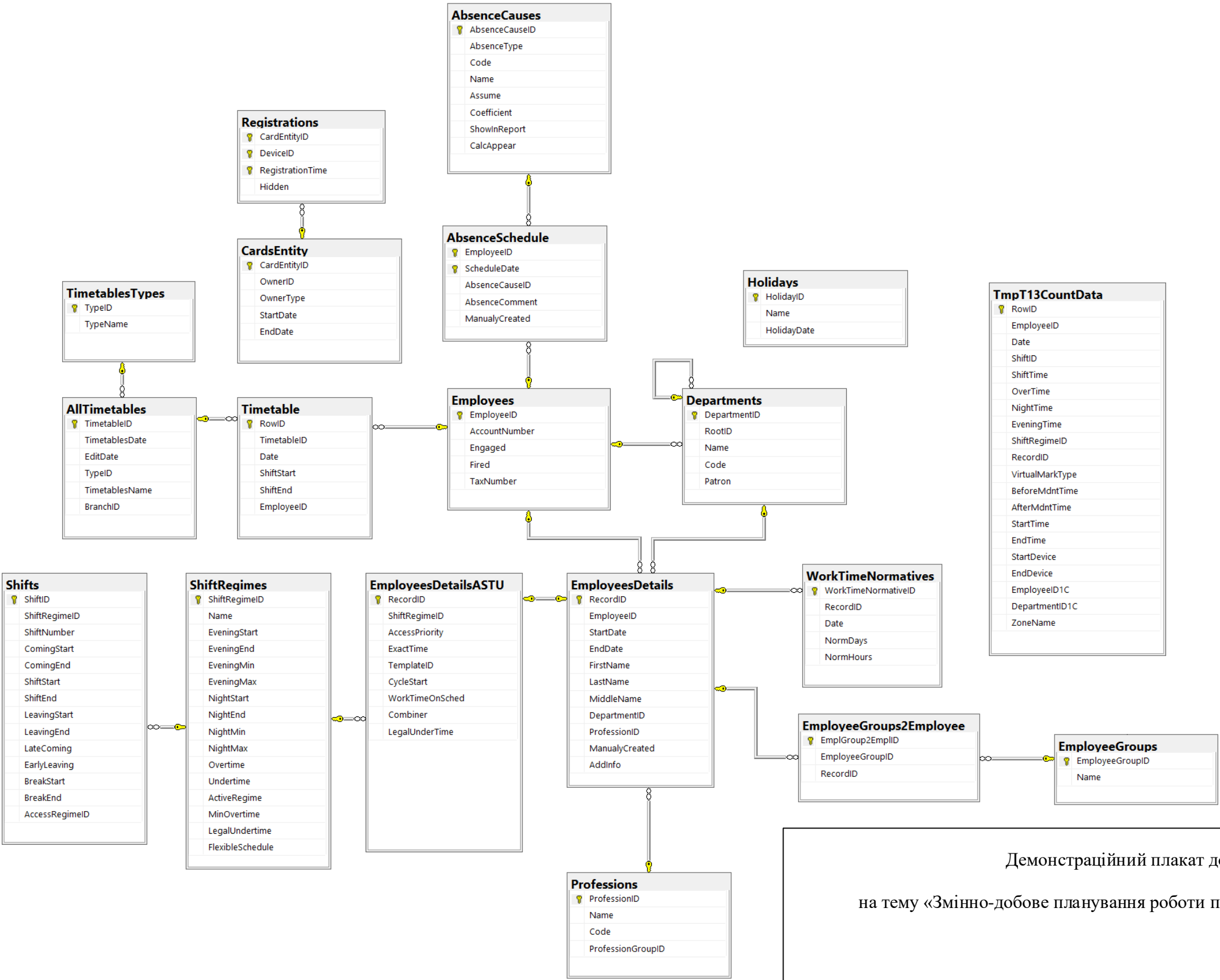
Виконала студентка гр. ІС-81мп

Гаврилюк О.І.

Керівник

Жданова О.Г

ПЛАКАТ 6 Схема бази даних



Демонстраційний плакат до магістерської дисертації
на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

Виконала студентка гр. ІС-81мп
Керівник

Гаврилюк О.І.
Жданова О.Г

ПЛАКАТ 7 Екранні форми

Вхід

Логін

test

Пароль

☒ Запам'ятати

Увійти

Рисунок Б.7.1 - Форма входу

Назва нового графіка

Введіть назву нового графіка

Рік:

2020

Місяць:

Січень

Оберіть рік та місяць, для якого потрібно створити графік

Скасувати

Створити

Рисунок Б.7.2 - Форма створення нового графіка роботи

Назва копії графіка

Введіть назву копії графіка

Графік:

Оберіть графік, для якого потрібно створити копію

Скасувати

Копіювати

Рисунок Б.7.3 - Форма створення копії графіка роботи

FLEX

Графік на місяць

Графік на день

Звіт за місяць

Звіт план/факт

Вийти

Логін

test

Ім'я

test

Філія

Філіал 115

Філія, для якої будуються графіки та звіти

Рисунок Б.7.4 - Головна сторінка

FLEX

Графік на місяць

Графік на день

Звіт за місяць

Звіт план/факт

Вийти

Рік:

2019

Місяць:

Грудень

Графік:

1 (2019-11-)

Підрозділ/Група:

Усі підрозділи

Співробітник:

Усі співробітники

Знайти

Зберегти

Дії

Філіал 115. Графік "1" на Грудень 2019

Таб №	ПІБ	Посада	1	2	3	4	5	6	7	8	Всього
Підрозділ: 11500 00											
001115 (Овощи/Фрукты)											
1815	Іващенко О.Л.	Работник торгового зала	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	0
2132	Діденко А.І.	Работник торгового зала	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	0
2139	Куліков Є.Р.	Работник торгового зала	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	0
2309	Пилипенко Є.А.	Работник торгового зала	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	0
Всього по групі:			0	0	0	0	0	0	0	0	0
002115 (Свежее мясо и птица)											

Рисунок Б.7.5 - Сторінка «Графік на місяць»

FLEX

Графік на місяць

Графік на день

Звіт за місяць

Звіт план/факт

Вийти

Дата:

2019-12-01

Графік:

Тест (2019-12-13 0

Підрозділ:

Усі підрозд

Група:

Усі групи

Співробітник:

Усі співробітники

Знайти

Зберегти

Дії

Філіал 112. Графік Тест на 2019-12-01

Таб №	ПІБ	Посада	Н. з. год	Початок	Кінець	Дія	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1112	Жураве...	Работни...	166	7	04:00	12:00	+							7																	
1224	Кісленк...	Работни...	166	8	07:00	16:00	+							8																	
1349	Петухов...	Работни...	166	7	00:00	08:00	+						7																		
Всього по групі:			22					1		2		3	2					1					0								
092112 (Свежее мясо и птица)																															
778	Савченк...	Работни...	166	7.5	14:00	22:30	+																								
926	Титарен...	Работни...	166	6	00:00	07:00	+						6																		

Рисунок Б.7.6 - Форма планування графіків роботи на день

FLEX

Графік на місяць

Графік на день

Звіт за місяць

Звіт план/факт

Вийти

Рік:

2019

Місяць:

Грудень

Графік:

Тест (2019-)

Підрозділ:

Усі підрозділи

Група:

Усі групи

Співробітник:

Усі співробітники

Знайти

Експортувати

Філіал 112. Графік "Тест" на Грудень 2019

Таб №	ПІБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Всього
Підрозділ: 11209 09															
091112 (Овощи/Фрукты)															
1224	Кісленко Л.М.	work	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	1
Початок зміни		07:00													
Кінець зміни		16:00													
План годин		8													8
1349	Петухова Н.В.	work	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	1
Початок зміни		00:00													
Кінець зміни		08:00													
План годин		7													7
1112	Журавель С.А.	work	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	ВД	1
Початок зміни		04:00													
Кінець зміни		12:00													
План годин		7													7

Рисунок Б.7.7 - Сторінка «Звіт за місяць»

FLEX

Графік на місяць

Графік на день

Звіт за місяць

Звіт план/факт

Вийти

Рік:

2019

Місяць:

Грудень

Підрозділ:

Усі підрозділи

Група:

Усі групи

Співробітник:

Усі співробітники

Розгорнути по датам

Знайти

Експортувати

Звіт про відпрацьований час за період з 1-12-2019 по 31-12-2019.

Таб.№	П.І.Б.	Посада	Дата	Норма графіку	Фактич. відпра...	Відпрацьовано часу, год	Узгоджена відсутність на ...	Задіяні	Дострокові закінчення роботи
Відділ 11200									
589	Акімцев В.О.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0
2062	Батінька М.А.	Касир		0	0	0	0	0	0
617	Бедняков А.М.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0
2064	Блізніченко Г.О.	Касир		0	0	0	0	0	0
565	Богаченко В.І.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0
586	Бур'ян О.О.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0
303	Войтов В.А.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0
397	Гавриленко К.Ю.	Работник торгового зала		0	0	0	0	0	0

Рисунок Б.7.8 - Сторінка «Звіт план/факт»

Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

на тему «Змінно-добове планування роботи персоналу з гнучким графіком роботи»

Виконала студентка гр. ІС-81мп

Гаврилюк О.І.

Керівник

Жданова О.Г